



**Tirso Perteguer Estévez**

Licenciado em Engenharia Florestal

**Madeira para peletes ou para  
construção/incorporação em  
habitações: qual a melhor opção na  
perspetiva da redução da emissão de  
GEE?**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Energia e Bioenergia

Orientador: Professor Doutor Nuno Lapa, Professor  
Auxiliar da UNL/FCT.

Co-orientador: Professor Doutor João Morais, Professor  
Auxiliar da UNL/FCT.

Júri:

Presidente: Doutora Benilde Simões Mendes –  
FCT/UNL

Vogais: Doutora Maria Margarida Boavida Pontes  
Gonçalves – FCT/UNL

Doutor Nuno Carlos Lapa dos Santos Nunes –  
FCT/UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro 2013**



**MADEIRA PARA PELETES OU PARA CONSTRUÇÃO/INCORPORAÇÃO EM  
HABITAÇÕES: QUAL A MELHOR OPÇÃO NA PERSPETIVA DA REDUÇÃO DA EMISSÃO  
DE GEE?**

© Tirso Perteguer Estévez

Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação, através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Tirso e Estrella.*

*Especialmente para o meu pai que partiu durante a realização desta dissertação, muito obrigado por tudo pai, sinto muito a sua falta.*

***“Para T.P.R de t.p.e”***



## AGRADECIMENTOS

À primeira pessoa a quem devo agradecer é à minha mãe. Sem ela sei que não teria terminado esta tese nem o Mestrado. Tanto ela como o meu pai ensinaram-me tudo o que sei, mas, neste ano tão difícil para mim, ela ensinou-me que nunca devo baixar a cabeça e que devo seguir sempre em frente e com a cabeça bem alta, mesmo que o caminho seja escuro. Muito obrigado mãe, adoro-te.

Ao Professor Doutor Nuno Lapa, Professor Auxiliar da UNL/FCT, sinceramente sem o seu apoio e a sua paciência esta tese não teria sido possível. Exerceu tanto de orientador como de amigo, principalmente quando surgiram as dúvidas de deixar o Mestrado. Por essa razão dou-lhe os meus mais sinceros agradecimentos pelo enorme trabalho que realizou.

Ao Professor Doutor João Morais, Professor Auxiliar da UNL/FCT, obrigado pelo apoio nestes dois anos de Mestrado. Sei que teve um ano muito duro e, embora não tivesse podido levar a co-orientação da dissertação, não me podia esquecer de você.

À Professora Doutora Benilde Mendes, Professora Associada da UNL/FCT e Presidente do DCTB da UNL/FCT, primeiro gostaria de lhe agradecer por me ter admitido no Mestrado. Em seguida, agradecer-lhe por tudo o que me ensinou nestes dois anos e pelo seu apoio incondicional aos estudantes.

Não queria esquecer-me do resto dos professores, dos meus colegas e amigos de Mestrado. Muito obrigado a todos por estes dois anos inesquecíveis.





## RESUMO

Este trabalho analisa a quantidade de emissões de GEE (gases com efeito de estufa), assumindo os balanços do CO<sub>2</sub>-eq (dióxido de carbono) durante o ciclo de vida dos diferentes produtos que se podem obter a partir de material lignocelulósico, no uso de dois tipos de produtos, um de curta duração (peletes) e outro de longa duração (materiais de construção).

Tendo em conta diferentes estudos realizados, são comparados um total de 8 estudos relacionados com os peletes, tanto domésticos como industriais, e um total de 13 estudos relacionados com os materiais de construção. Estes materiais (madeira, betão, tijolo, aço, etc.) diferem entre materiais para moradias e materiais de uso nos transportes como, por exemplo, nas vias ferroviárias.

Obtém-se um valor médio de emissões para os peletes domésticos de 60 kg CO<sub>2</sub>-eq / t. ao longo do seu ciclo de vida, sendo que as emissões dos peletes industriais são superiores. Quanto aos materiais de construção em madeira, estes obtêm valores negativos em CO<sub>2</sub> (emissões armazenadas) ao longo do seu ciclo de vida. Isto deve-se à funcionalidade dos produtos de madeira para atuar como produtos armazenadores de CO<sub>2</sub>. Quanto mais densa for a madeira utilizada, maior quantidade de carbono terá e, portanto, irá armazenar uma maior quantidade de CO<sub>2</sub>. Produtos com uma vida útil similar à rotação da floresta, de onde foi extraída a matéria-prima, criarão uma perfeita combinação no balanço para mitigar GEE.

Dar-se-á detalhar, passo a passo, cada emissão, em cada uma das suas etapas do ciclo de vida, para chegar a uma conclusão clara: a utilização da madeira de produtos com um tempo de vida média alta geram grandes benefícios no balanço de CO<sub>2</sub>, não só por ser um material menos custoso, no que se refere à sua produção ou ao seu uso, mas, também, porque junto à utilização da floresta, reduz o conteúdo de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, portanto, reduz a quantidade de GEE.

Palavras chaves: CO<sub>2</sub>, GEE, peletes, materiais de construção, armazenamento, floresta.



# ABSTRACT

This dissertation analyzes the amount of greenhouse effect gases (GHG), taking into account that the balance of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>-eq) during the life cycle of different products obtained from lignocellulosic material. The products analyzed can be categorized in two types: short live (peletes) and long live (building materials).

In this research, a total of 21 studies have been taken into account; 8 of them are related to the pellets, as domestic as industrial works. The rest of the studies are linked to the building materials like wood, concrete, bricks, steel, etc. These building elements differ between housing and transport use materials, used in building of houses or railways.

An average value of 60 kg of CO<sub>2</sub>-eq has been obtained for the emission of domestic pellets through its life cycle, being higher in the case of industrial peletes. Regarding the wood building materials, a negative assessment on CO<sub>2</sub> (stored emissions) has been reached, due the functionality of the wood products to act as accumulator of CO<sub>2</sub>. As much denser the used wood is, much amount of carbon has and more CO<sub>2</sub> will be accumulated. Products with a similar shelf life of the “rotation of the forest” from where the raw material was obtained, will create a perfect balance to reduce the amount of greenhouse effect gases.

This dissertation describes in details all steps of each emission, analysing them in each stage of the life cycle. The study has a clear conclusion: the use of wood products with a high average lifetime generate higher benefits in the balance of CO<sub>2</sub>, not only for being the less costly during the production or use phase, but also for reducing the content of CO<sub>2</sub> in the atmosphere and cutting down the total amount of GHG.

Key words: CO<sub>2</sub>, GHG, pellets, building materials, stored, forest.



# ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. Introdução. ....	1
1.1 Objetivo. ....	2
1.2 Metodologia. ....	3
2. CO <sub>2</sub> e alteração climática. ....	5
3.A madeira como matéria-prima. ....	9
3.1 As florestas como armazenamento de carbono. ....	10
3.2 Os produtos de madeira, de longa duração, como armazenadores de carbono. ....	12
4. Os ACV ....	15
5. Peletes de madeira. ....	19
5.1 Análise de diferentes estudos de peletes de madeira. ....	22
5.1.1 Peletes para uso residencial.....	22
5.1.1.1 Peletes domésticos para “District heating” .....	23
5.1.1.2 Peletes de madeira para aquecimento de grandes edifícios.....	25
5.1.1.3 Peletes domésticos em sacos pequenos (15 a 25 kg) para aquecimento.....	26
5.1.1.4 Utilização de peletes domésticos para combustão em estufa (Japão).....	28
5.1.1.5 Comparação dos estudos relativos a peletes residenciais.....	30
5.1.2 Peletes para uso industrial.....	31
5.1.2.1 Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes (Holanda).....	32
5.1.2.2 Peletes de madeira industriais, para comercio internacional (Suécia).....	35
5.1.2.3 Comparação dos estudos relativos a peletes de madeira industrial. ....	37
5.2 Comparação entre peletes de madeira, industriais e domésticos. Conclusões dos seus diferentes ciclos de vida para a sua comparação com os materiais de construção. ....	38
6. Materiais de construção. ....	41
6.1. Análise do ciclo de vida dos materiais de construção. ....	43
6.1.1. Produção (tendo em conta a produção da madeira na floresta).....	43

6.1.2. Uso e manutenção. ....	51
6.1.3. Fim de vida. ....	53
6.2. Comparação das emissões de GEE na utilização da madeira em diferentes aplicações da construção. ....	59
7. Madeira para peletes VS madeira para materiais de construção. ....	61
8. Cascata de materiais de madeira. ....	65
8.1. Tábuas de madeira, mediante madeira reciclada ou madeira talhada. ....	65
8.2. Vigas de madeira para construção. Com limitação na obtenção de madeira. ....	67
8.3. Vigas de madeira para construção. Sem limitação na obtenção da madeira. ....	68
9. Conclusão. ....	71
10. Referencias bibliográficas. ....	73

# **INDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1- Aumento das emissões de CO <sub>2</sub> entre os anos 1700 a 2000 [5].....	5
Figura 3.1- O ciclo de vida da madeira [5].....	9
Figura 3.2- O ciclo de vida de uma floresta [29].....	11
Figura 4.1- As etapas de um ACV [12].....	15
Figura 4.2- ACV detalhado [11].....	17
Figura 5.1- Exportações / Importações, de peletes de madeira na Europa [47].....	19
Figura 5.2- Produtores de peletes em Portugal [14].....	20
Figura 5.3- O ciclo de vida dos peletes [47] .....	21
Figura 5.4- Passos detalhados na etapa de produção dos peletes [43].....	22
Figura 5.5- Comparação de produção de CO <sub>2</sub> -eq, entre diferentes ciclos de vida de peletes de madeira residenciais .....	30
Figura 5.6- Comparação de produção de CO <sub>2</sub> -eq, entre diferentes ciclos de vida de peletes de madeira industriais. ....	37
Figura 5.7- Emissões de GEE de diferentes tipos de peletes (kg CO <sub>2</sub> -eq / t peletes).....	39
Figura 6.1- CO <sub>2</sub> -eq emitido na produção de diferentes materiais de construção [64].....	44
Figura 6.2- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq na produção de fachadas [63].....	45
Figura 6.3- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq na produção de partições [63] .....	46
Figura 6.4- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq na produção de material de isolamento [63].....	47
Figura 6.5- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq na produção de vigas [65].....	48
Figura 6.6- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq na produção de janelas [25].....	49
Figura 6.7- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq na produção de postes telefónicos [25] .....	50
Figura 6.8- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq no uso e manutenção de caixilhos de janelas [69] .....	51
Figura 6.9- Emissões de CO <sub>2</sub> -eq no uso e manutenção de pavimentos [69] .....	52
Figura 6.10- Comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e metálicos [64] .....	54
Figura 6.11- Comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e minerais [64].....	55

Figura 7.1- GEE emitidos por toneladas de peletes ao longo do seu ciclo de vida .....	61
Figura 7.2- GEE emitidos por materiais de construção ao longo do seu ciclo de vida .....	62
Figura 8.1- Linha temporal da cascata de materiais de madeira [77] .....	65
Figura 8.2- Esquema representativo, caso A1, caso A2 e caso B .....	66
Figura 8.3- Esquema representativo, caso C e caso D .....	67
Figura 8.4- Esquema representativo, caso E, caso F e caso G .....	69



# **INDICE DE TABELAS**

Tabela 5.1- Peletes domésticos para “District heating” (Uso em países do Norte da Europa) [44]	24
Tabela 5.2- Peletes de madeira para aquecimento de grandes edifícios (Hedmark, Noruega) [50]	26
Tabela 5.3- Peletes domésticos em sacos pequenos (15 a 25 kg) para aquecimento (Itália) [44]	27
Tabela 5.4- Utilização de peletes domésticos para combustão em estufa (Japão) [52]	29
Tabela 5.5- Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes (Holanda) [44]	33
Tabela 5.6- Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes, secagem com gás natural (Holanda) [44]	34
Tabela 5.7- Peletes de madeira industriais, para comercio internacional (Suécia) [55]	35
Tabela 5.8- Peletes de madeira industriais, para comercio internacional secagem com gás natural (Suecia) [55]	36
Tabela 6.1- Comparação em redução de energia primaria e emissões de GEE, entre madeira e materiais alternativos [3]	55
Tabela 6.2- Comparação de consumo de energia e GWP de janelas de madeira com materiais alternativos [71]	56
Tabela 6.3- Comparação de consumo de energia e de GWP de material de isolamento de madeira com materiais alternativos [71]	57
Tabela 6.4- Comparação de consumo de energia e de GWP de pavimentos de madeira com materiais alternativos [72]	57
Tabela 6.5- Comparação de consumo de energia e de GWP de paredes de madeira com materiais alternativos [73]	57
Tabela 6.6- Comparação de consumo de energia e de GWP de caixilhos de portas de madeira com materiais alternativos [74]	58
Tabela 6.7- Comparação de consumo de energia e de GWP de travessas para vias férreas de madeira com materiais alternativos [75]	58
Tabela 6.8- Comparação de consumo de energia e de GWP de postes de eletricidade de madeira com materiais alternativos [76]	59
Tabela 8.1- Balanço de CO <sub>2</sub> -eq, casos A1, A2 e B [77]	66

Tabela 8.2- Balanço de CO <sub>2</sub> -eq, casos C e D [77] .....	68
Tabela 8.3- Balanço de CO <sub>2</sub> -eq, caso E1, E2, F, G1 e G2 [77].....	70

# LISTA DE ABREVIATURAS

ACV	-	Análise ciclo de vida
AICV	-	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CED	-	Demanda de energia acumulada
CELE	-	Regime comunitário de comércio de licenças de emissões
CH	-	Conteúdo da humidade
CH <sub>4</sub>	-	Metano
CHP	-	Combined, Heat and Power
CO <sub>2</sub>	-	Dióxido de carbono
DH	-	District heating
FCT	-	Faculdade de Ciências e Tecnologia
GEE	-	Gases com efeito de estufa
GHG	-	Greenhouse effect gases
GWP	-	Global warming potential (100 anos)
HWP	-	Harvested wood products
ICV	-	Inventário do ciclo de vida
KP	-	Protocolo de Quioto
LCA	-	Life-cycle analysis
Não. RES	-	Energias não renováveis
N <sub>2</sub> O	-	Óxido nítrico
PIB	-	Produto Interior Bruto
PVC	-	Policloreto de vinilo
RED	-	Diretiva de Energia Renovável
RES	-	Energias renováveis
UE	-	União Europeia
UNL	-	Universidade Nova de Lisboa



# 1. INTRODUÇÃO

A madeira contém carbono, o qual faz parte da glicose e da lenhina que constitui a celulose e uma parte da hemicelulose da parede celular. Fala-se em fixação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na madeira ao fazer referência à quantidade de  $\text{CO}_2$  que a árvore necessitou absorver da atmosfera para, através da fotossíntese, fixar o carbono na parede celular e libertar o oxigênio para o ar [1].

A madeira não possui apenas carbono (detentora do carbono fixado), mas também outros elementos, razão pela qual 1 kg de madeira contém muito menos do que 1 kg de carbono: por cada quilo de carbono contido na madeira, a árvore requer fixar 3,667 kg de  $\text{CO}_2$  atmosférico, mas, cada quilo de madeira contém aproximadamente 0,44kg de carbono. Portanto, para formar 1 kg de madeira, a árvore precisa de absorver da atmosfera aproximadamente 1,63 kg de  $\text{CO}_2$  ( $1,63 / 0,444 = 3,667$ ) [2].

É bom esclarecer que ao fazer referência à parede celular da madeira não se tem em conta o conteúdo da humidade (CH) da madeira e estes valores corresponderiam a uma madeira com um CH de 0%. Qualquer madeira processada, útil para construir e, portanto, “seca”, contém sempre uma humidade que ronda uma proporção média de 12%. A madeira recém-cortada pode conter entre 40 e 50% de humidade em peso de acordo com a espécie, a origem e a época de corte. Nestes casos, é óbvio que o conteúdo de carbono por quilo de madeira húmida é notavelmente menor, já que estamos a somar o peso da água excedente [1].

É importante saber quanto carbono há na madeira, já que devido a que a madeira é um material perecedouro, de uma forma ou de outra, dito carbono terminará na atmosfera combinado com oxigénio como  $\text{CO}_2$ . O tempo que demorará em acontecer irá depender do tipo de material derivado da árvore e do uso que dito material receba. Por exemplo, consideramos que o carbono contido nos resíduos destinados ao combustível e aos desperdícios demorará no máximo um ano em ser emitido para a atmosfera, os produtos de papel podem demorar até três anos e os produtos de madeira sólida, como a utilizada para construir edifícios, até 40 anos, em média [3].

Dependendo da duração do produto, outorgamos um défice de carbono à atmosfera. Quanto maior for a duração do produto, mais tempo estará retido o carbono e, portanto, não se encontrará livremente na atmosfera e, assim, o balance de GEE será benéfico. Ao mesmo tempo, obteremos outra função redutora de GEE, o aumento da floresta, de onde se obteve a madeira para o fabrico do produto. Este crescimento da floresta terá a função de captura de carbono, pelo que tanto o carbono retido no produto como o carbono retido na floresta, outorgará um défice importante na mitigação dos gases com efeito de estufa.

## 1.1 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é fazer uma revisão da bibliografia disponível sobre as emissões de GEE no ciclo de vida de peletes de madeira e no ciclo de vida de materiais de madeira para construção para, desta forma, poder fazer uma comparação entre os produtos com a finalidade de responder à seguinte pergunta: qual é a melhor opção na perspectiva da redução das emissões de GEE?

Dentro dos objetivos da presente tese, dar-se-á resposta às seguintes perguntas:

- Quais são as emissões de GEE para peletes de madeira destinados a uso industrial?
- Quais são as emissões de GEE para peletes de madeira destinados a uso doméstico?
- Quais são as emissões de GEE para materiais de construção?
- Os balanços de GEE são melhores nos peletes ou nos materiais de construção?
- Em que tipo de materiais se consegue um armazenamento maior de CO<sub>2</sub> e num prazo de tempo maior?

## 1.2 Metodologia

Para a realização desta tese, foi efetuada uma pesquisa de artigos científicos, teses de Doutorado e teses de Mestrado através da rede “B-on” disponível na FCT-UNL e através da aplicação “Google Scholar”, e também procurando nas bases de dados eletrónicas tais como: “Science Direct”, “SciVerse Science Direct”, “Corrim publications”, “Wiley InterScience”. Os artigos foram encontrados utilizando as seguintes palavras chave: “GHG”, “LCA”, “sawdust”, “wood board”, “peletes” e “Build timber”. Além disso, também foram utilizadas combinações entre estas palavras.

Esta pesquisa teve diferentes fases. A primeira gerou uma base pré-seletiva com mais de 220 artigos. Estes artigos foram colocados numa base de dados para a sua posterior organização. Os resultados obtidos foram filtrados por ano de publicação, tendo sido retirados os artigos anteriores a 1995.

Depois, foi realizada uma pesquisa seletiva, a qual deixou um número considerável de artigos (77). Estes artigos foram resumidos e foram utilizados para análise de forma a poder tirar uma conclusão sobre a pergunta que simplifica o trabalho: ***qual é a melhor opção na perspetiva da redução das emissões de GEE?***

Para conseguir uma resposta ao objetivo principal, a pesquisa bibliográfica foi centrada tendo em conta os estudos já realizados sobre as análises do ciclo de vida (ACV), tanto para peletes de madeira como para madeira a ser incorporada em construções. Realizou-se também um estudo sobre quais dos processos emite menos quantidade de GEE e, portanto, é mais viável na redução do cambio climático.

Quanto ao estudo sobre os GEE produzidos no ACV dos peletes de madeira, foram analisados oito processos diferentes divididos em duas hipóteses: peletes de madeira para uso doméstico e para uso industrial. Cada caso foi estudado separadamente e, no final do estudo, foi realizada uma comparativa de todos os diferentes casos estudados, comparando os pontos mais importantes do processo produtivo e indicando quais seriam as bases para a comparação final.

Quanto ao estudo sobre os GEE produzidos no ACV de materiais de madeira para construção, foram estudados diferentes produtos fabricados em madeira. Os produtos fabricados em madeira foram comparados com materiais alternativos utilizados para o fabrico do mesmo produto. Analisaram-se, separadamente, distintas fases do ciclo de vida de cada produto: produção, uso e mantimento e, por último, fim de vida. Tendo em conta estas etapas, foram determinados tanto os GEE produzidos por materiais de madeira como materiais alternativos.

Para terminar o estudo, foi realizada uma utilização conjunta de dois produtos (peletes e materiais de construção) em forma de cascata. Este estudo foi realizado a partir da utilização

de 1 t de madeira tanto reciclada como natural. O estudo em cascata compreende uma linha temporal desde o ano “-100 ao ano 0 e ao ano 100”, usando a madeira tanto como biomassa densificada para a substituição do carvão (o carvão é a principal fonte de energia) ou como material para construção. Além da utilização da madeira como biocombustível ou como material de construção, a madeira é comparada com outros materiais alternativos para definir qual é o material mais adequado na mitigação dos GEE.

Depois de realizar os cálculos correspondentes e analisar as tabelas subministradas nos diferentes artigos científicos, foram realizadas comparações finais entre os GEE produzidos nos diferentes ciclos de vida e, assim, poder-se-á responder à pergunta principal deste projeto:

***Madeira para peletes ou para construção em vivendas: qual é a melhor opção na perspectiva da redução da emissão de GEE?***



## 2. CO<sub>2</sub> E ALTERAÇÃO CLIMÁTICA

O CO<sub>2</sub>, o vapor de água e outros gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, etc.), que fazem parte da atmosfera, têm a particularidade de absorver calor que emite a Terra pelo que evita perder grande parte de ditas radiações até ao espaço. Este fenómeno recebe o nome de efeito de estufa e os gases com dita propriedade chamam-se gases com efeito de estufa (GEE) [4].

É importante não confundir o efeito de estufa natural, sem o qual a temperatura da terra cairia num raio entre 15°C a -18°C. A contribuição do ser humano está a fazer intensificar este efeito, em grande parte pelo grande incremento das emissões de CO<sub>2</sub> [5].

Desde o início da revolução industrial, produziu-se um forte aumento das emissões de gás com efeito de estufa para a atmosfera, principalmente devido ao CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis fósseis e também pela desflorestação tropical. Como resultado, espera-se que as temperaturas médias se incrementem a um ritmo de 0,1°C a 0,4°C por década durante a primeira metade deste século [5].

A maioria (55%-70%) do efeito de estufa adicional é produzida por causa do CO<sub>2</sub>. Com um crescimento de 0,5% por ano, de acordo com as previsões mais otimistas, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera será o dobro em 2010 [5].

Em seguida, será mostrado o aumento de CO<sub>2</sub> entre os anos compreendidos entre 1700 a 2000:

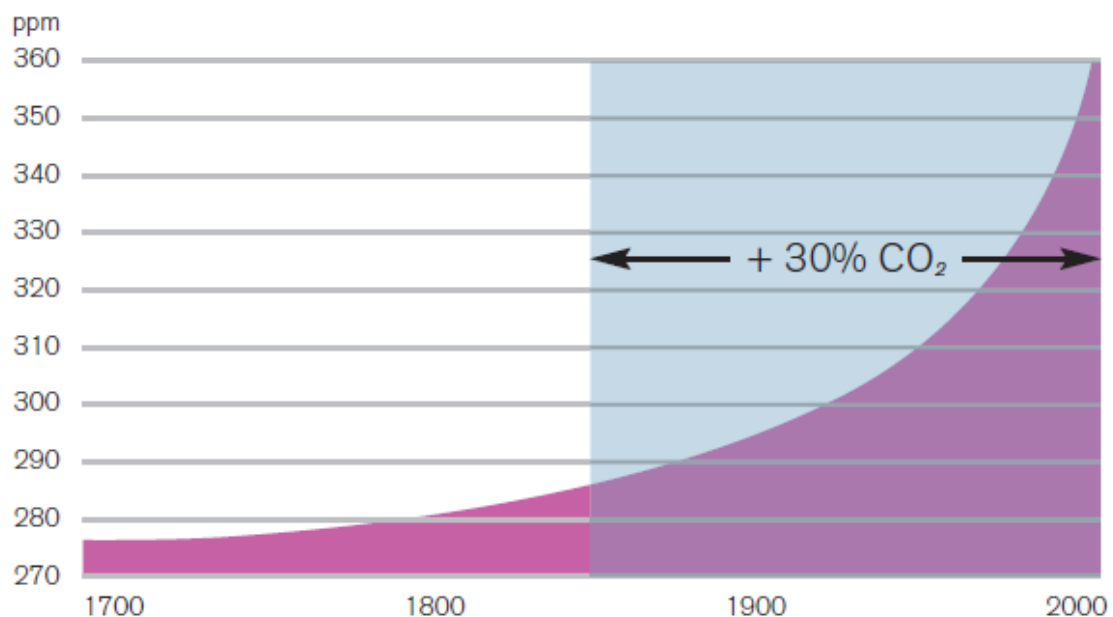


Figura 2.1 - Aumento das emissões de CO<sub>2</sub> entre os anos 1700 a 2000 [5]

A alteração climática é um dos principais problemas médio ambientais no mundo atual. O incremento das concentrações de gases estufa na atmosfera está a afetar o clima da terra de

forma gradual [6, 7, 8, 9]. No balance dos gases com efeito de estufa, as emissões de gases estufa mais importantes (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) devem ser tidas em contas no ciclo de vida de um produto ou de um serviço. Estes gases podem ser emitidos diretamente (ex.: na combustão de combustíveis fósseis para produzir o produto) ou indiretamente (ex.: na combustão do incremento de energia auxiliar, na produção de materiais auxiliares, cambios indiretos no uso do solo) e são responsáveis do efeito que incrementa a temperatura na baixa atmosfera [6, 10, 11, 12].

No início do ano 2008, a Comissão Europeia avaliou e integrou um manual sobre energia e clima [13, 14]. Os próximos anos vão ser um desafio, dada a variedade e a complexidade dos objetivos energéticos e climáticos estabelecidos. Os Planos Nacionais de Ação para a Eficiência Energética apontam 9% de poupança em 2016, enquanto que o regime comunitário de comércio de licenças de emissões (CELE), em conjunto com outros instrumentos da política climática, está dirigido à redução de um 20% de GEE no ano de 2020 (em relação a 1990) [13, 14, 15, 16, 17]. Outro instrumento importante para a eliminação dos GEE é a diretiva de energias renováveis [13]. A adoção, por parte da União Europeia (UE), da “**Diretiva de Energia Renovável**” (RED), com o objetivo de 20% (relativo ao ano 1990) do consumo energético bruto total renovável para o ano 2020 (em comparação com a quota de 7,8% em 2007), é atualmente um dos principais motores para o consumo de bioenergia em toda a UE. Todos os estados membros assumiram uma meta em energias renováveis, em função do seu produto bruto doméstico e realizando, para tal, um “**mix**” energético. Com este ato, decidiram como aumentar o uso de energias renováveis em setores como: a eletricidade, o aquecimento/arrefecimento e o transporte [13, 18]. Para conseguir estes objetivos, a UE fixa uns parâmetros ao potencial de energias renováveis de cada país [13].

Na negociação da adoção da Diretiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, Portugal estabeleceu o compromisso de alcançar uma meta de 31% do consumo total de energia proveniente de fontes renováveis no consumo bruto de energia final até 2020. Portugal, nos últimos tempos, está a aumentar a sua produção de energia com origem em energias renováveis apresentando, em 2008, cerca de 23,2% da pesquisa bruta de energia final [19].

Neste âmbito, surge a utilização da biomassa lignocelulósica com um forte potencial contributivo para a diminuição da importação de energia e a libertação de emissões GEE. Isto vai ao encontro do que se publicou no documento “**The share of renewable energy in EU**”, que indica que um dos objetivos a alcançar, a nível da União Europeia, é o melhor aproveitamento da biomassa lignocelulósica, a qual foi descuidada em comparação com as restantes energias renováveis [19].

A madeira é uma alternativa atrativa em comparação com os combustíveis fósseis para produzir eletricidade e combustíveis para o transporte. É um recurso renovável, portanto um substituto para o carvão, e encontra-se disponível em muitos países, com a vantagem de

promover e reabilitar áreas rurais. Existem conhecimentos que afirmam que a demanda de biomateriais pode aumentar em 2,5 vezes durante os próximos 50 anos e também se espera que incremente fortemente a demanda de combustíveis a partir de biomassa [11, 20]. Em suma, se são gerados com práticas sustentáveis, podem ser uma opção muito válida para a mitigação da alteração climática e para o incremento da segurança em energia nacional e internacional [11].



### 3. A MADEIRA COMO MATÉRIA-PRIMA

A madeira é uma matéria-prima renovável e versátil. Pode ser utilizada para construção, decoração, mobiliário, para manipular alimento, empacotar, para fazer paletes e para aplicações de transporte [3, 5, 9, 21]. No final do seu ciclo, a madeira ou os seus produtos derivados podem ser:

- Reutilizados.
- Reciclados.
- Usados como recurso energético com CO<sub>2</sub> neutro.

A utilização de madeira outorga grandes benefícios não só por poder armazenar o CO<sub>2</sub> durante um longo período de tempo quando é utilizada como material de construção, mas, também, por ser utilizada como substituta dos combustíveis fósseis [3, 5, 9, 21].

A madeira como energia, pode ser obtida a partir de diferentes recursos: por lascas de processos florestais, cortiça, de serraria e resíduos de podas, para criar mobiliário e para recuperar a madeira depois da sua utilização. Além disso, os resíduos florestais, gerados durante as operações de corte ou serragem, estão a ser utilizados como biomassa para a produção de energia, não só nos lares, como acontecia no passado, mas também para o aquecimento e a eletricidade industrial [21].

Em seguida, na Figura 3.1, apresenta-se o ciclo de vida da madeira:

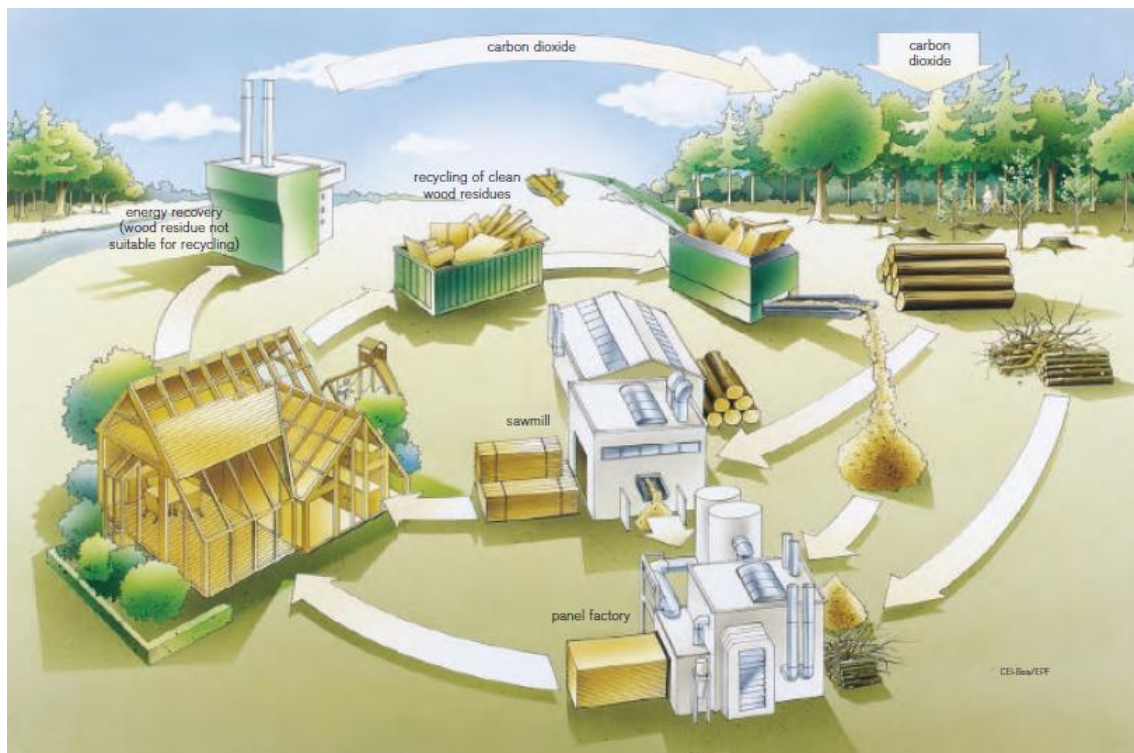


Figura 3.1 - O ciclo de vida da madeira [5]

Numa planta moderna de produção de energia CHP (Combined, Heat and Power), subprodutos gerados a partir da produção de 1 m<sup>3</sup> de madeira serrada pode ser transformado em 250-290 kWh de eletricidade e 2800-3200 MJ de energia térmica, mais de metade da energia anual necessária para a produção de madeira serrada [21].

Poucos resíduos são produzidos durante a manufatura da madeira e dos produtos derivados a partir dela. A maior parte dos produtos são usados como matéria-prima ou como recurso energético [5, 9, 21].

Durante a produção da madeira serrada, os restos, as lascas e estilhas geradas, são usadas na própria serralaria para produzir calor e energia para a secagem e outras operações. Fora da serraria, as lascas e estilhas são utilizadas para a produção de painéis de partículas ou para polpa para a indústria papelreira. Há um crescente interesse na utilização dos restos para o uso como recurso energético para as plantas de biomassa, para a produção de eletricidade [3,21].

O consumo anual de madeira na Europa está estimado em 160 milhões de toneladas. 15 milhões destas toneladas são recicladas todos os anos e, estima-se, que esta quantidade pode aumentar significativamente, já que a legislação irá proibir em breve o uso de lixeiras para resíduos de madeira [21].

### **3.1 As florestas como armazenamento de carbono**

As florestas desempenham um papel central no ciclo do carbono já que o capturam da atmosfera à medida que crescem e armazenam-no nos seus tecidos [11, 16, 22, 23, 24]. Devido à grande quantidade de biomassa acumulada nas florestas, estas constituem uma das maiores reservas e sumidouros de carbono [4]. Em cada m<sup>3</sup> de madeira é capturada uma média de 0,9 t de CO<sub>2</sub> [4, 5].

Recentemente, as florestas adquiriram maior importância pela sua participação na regulação do CO<sub>2</sub> atmosférico, principal promotor do efeito de estufa e da alteração climática global [11, 16, 22, 23, 24, 25, 26]. As florestas do mundo cobrem um total de 3.454 milhões de hectares, ou seja, 25% da superfície continental do planeta [27] e constituem grandes depósitos de carbono [4, 26]. Na Europa, o C total armazenado nas florestas, excluindo a Federação Russa, está estimado em 9.552 milhões de toneladas aumentando anualmente em 115,83 milhões de toneladas [5].

O reconhecimento das florestas para acelerar ou reverter o incremento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, segundo lhe seja conveniente, fez com que sejam incluídos dentro dos mecanismos de mitigação da alteração climática proposta pelo Protocolo de Quioto (KP) [4, 25, 26]. Este protocolo é um acordo multinacional que impõe aos países industrializados, que em 1990 produziram cerca de 55% das emissões totais de GEE, medidas adicionais e obrigatórias com respeito à diminuição quantificada das suas emissões [28].

Administrar as florestas é uma maneira mais eficiente de capturar carvão, com melhor aproveitamento em redução de CO<sub>2</sub>, do que deixar as florestas com o seu crescimento em estado natural. Isto é devido a que, em primeiro lugar, a eliminação oportuna de carbono nas florestas elimina a possibilidade de que as reservas de carbono florestal se emitam durante um desastre natural [5, 29]. Adicionalmente, as talhas de florestas maduras convertem uma floresta, com um rácio de crescimento/decaimento inferior a uma floresta que com maior velocidade de crescimento e o armazenamento de carbono [5, 29]. A Figura 3.2 mostra o crescimento (fase I e II), o estado de equilíbrio (fase III) e a eventual diminuição da biomassa numa floresta madura (fase IV). A extração de árvores no final da fase II, depois de que o crescimento se encontra mais lento, e reiniciada a fase I, cria uma redução de carbono na atmosfera como se a floresta voltasse ao nível anterior à extração [29].

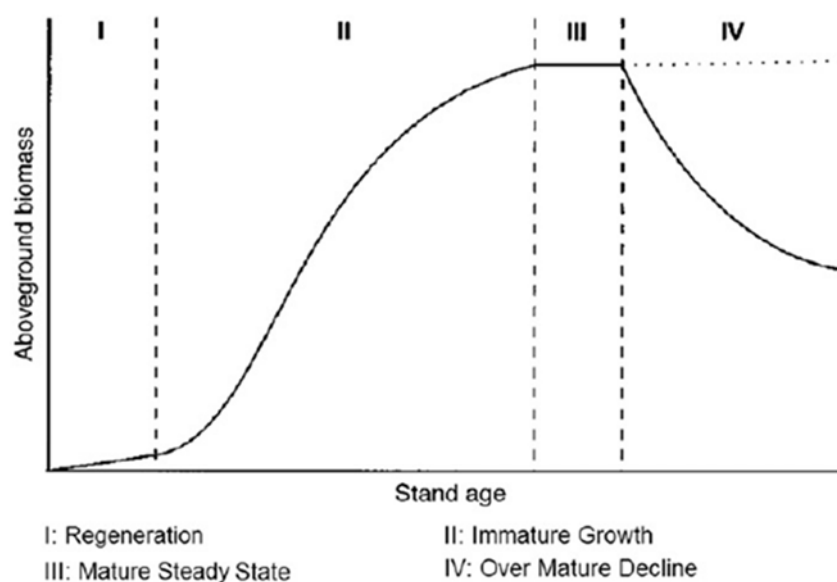


Figura 3.2 - O ciclo de vida de uma floresta [29]

A floresta pode ser utilizada com intensidade já que o seu produto, a madeira, pode ser utilizado por um longo período de tempo e com um alto valor adicionado. Estima-se que a nível mundial dever-se-ia implantar, a médio prazo, uma política ativa de florestação para produzir cerca de 500.000 milhões de toneladas de madeira para absorver os níveis atuais de emissões de CO<sub>2</sub> até 2025. Com esta política, poder-se-ia permitir a regeneração da maioria das florestas naturais em perigo de extinção (tropicais, subtropicais e temperadas), e também poder-se-ia beneficiar as superfícies agrícolas devido a que se modificaria substancialmente o clima planetário, restabelecer-se-ia o funcionamento normal do ciclo da água planetária e reduzir-se-ia ao mínimo o fenómeno da chuva ácida em muitas áreas geográficas [30].

Embora, em geral, as florestas de latitudes médias acumulam menores quantidades de carbono do que as florestas tropicais, dentro daquelas existem zonas chuvosas onde a produção se incrementa consideravelmente, armazenando quantidades muito elevadas de carbono, tanto na vegetação como nos solos. As florestas naturais ou seminaturais

temperadas, chegam a acumular quantidades superiores em biomassa (às vezes mais de 200 Mg C ha<sup>-1</sup>) do que plantações de crescimento rápido, embora devido à sua menor velocidade de crescimento, esta biomassa permanece estável durante muito mais tempo enquanto a sua gestão continua a ser florestal [25].

Portanto, também há que pensar se, na captura de carbono, se deve bonificar simplesmente o incremento de carbono fixado conseguido na natureza ou considerar também o destino final dos produtos madeiros. Não é a mesma coisa fixar carbono em árvores de rápido crescimento, destinados a combustíveis ou produtos perecedouros, como o papel, móveis de aglomerado, etc., cujo carbono é devolvido à atmosfera num período de tempo relativamente curto, do que em árvores de crescimento mais lento (por exemplo, carvalhos ou castanheiros) cuja madeira destina-se principalmente a móveis duradouros ou vigas de construções rústicas [25].

As florestas não podem fixar todo o CO<sub>2</sub> emitido pela atividade humana, por muito que pudéssemos aumentar a sua superfície e, além disso, mais tarde ou mais cedo, o carbono fixado pelas florestas volta novamente à atmosfera. Por isso, na gestão florestal, devemos ter muito em conta o tempo que permanecerá preso o carbono na biomassa [4]. A principal função das florestas consiste em mitigar o problema durante um tempo “comprar o tempo necessário” para permitir pôr em funcionamento outras soluções tecnológicas que permitam reduzir a emissão de gases com efeito de estufa, que deve ser o objetivo final [4, 30].

### **3.2 Os produtos de madeira, de longa duração, como armazenadores de carbono**

O aproveitamento da madeira, de forma ordenada e sustentável, pode ajudar à fixação de CO<sub>2</sub> pelas florestas devido ao rejuvenescimento que este aproveitamento pode produzir na povoação de árvores e, mais ainda, quanto maior seja o ciclo de vida dos produtos derivados [4].

A produção de madeira é uma das principais atividades industriais em todo o mundo. A produção mundial de madeira em rolos ascende, aproximadamente, a 1.588 milhões de m<sup>3</sup>/ano [31] e aporta por volta de 2% do Produto Interior Bruto (PIB) mundial [32].

Os produtos de madeira de longa duração, em particular, podem contribuir de várias formas à mitigação da alteração climática. Primeiro, os produtos de madeira com um longo ciclo de vida podem atuar como recursos de armazenamento de carbono (C) durante a sua vida útil (a árvore absorve 1,55 kg de CO<sub>2</sub> do ar para fazer 1 kg de madeira [33]), já que podem manter o carbono armazenado em vez de reenviar o CO<sub>2</sub> à atmosfera [33, 34, 35, 36]. Como segundo ponto, os produtos madeiros podem substituir outros produtos de maior gasto energético, feitos de materiais não "convencionais", os materiais não madeiros [33, 34, 35]. Como



terceiro argumento, depois da sua vida útil, a madeira pode substituir combustíveis fósseis, se eles forem queimados em instalações devidamente reguladas.

Os produtos de madeira não são sumidouros de CO<sub>2</sub>, mas sim armazenadores de CO<sub>2</sub>. A quantidade de CO<sub>2</sub> emitida por um produto madeireiro depende da vida média, da sua vida útil e do seu nível de consumo. A vida útil e o uso variam muito de um produto para outro [33]. Segundo estudos recentes, a vida média de um produto de madeira varia entre 2 meses, para jornais, e 75 anos para estruturas de madeira [5]. Quanto mais duradouro, melhor para o meio ambiente. Não só porque não será necessário extrair madeira rapidamente, mas também porque reduzirá a quantidade de energia necessária para substituir a madeira utilizada [5].

Os processos madeireiros são aqueles onde se transformam as árvores, tanto em produtos úteis para o consumo, como em materiais de construção tais como tábuas de madeira [37, 38]. As indústrias madeireiras proporcionam produtos básicos como: madeira serrada, tábuas de madeira, carpintaria para construção, madeira para decoração de interiores e embalagens (paletes). Em geral, o consumo europeu de tábuas de madeira alcançou níveis recorde em 2006 (~ 64,7 milhões de m<sup>3</sup>), impulsionado, principalmente, pela demanda em setores de uso final: construções de moradias, móveis, gabinetes, solos e molduras [38].

A UE é um dos principais produtores, comerciantes e consumidores de produtos florestais em todo o mundo. As indústrias florestais, e outras indústrias relacionadas, representam um dos setores industriais mais importantes e dinâmicos da UE, representando mais de 10% do total das indústrias europeias de fabrico. Se a Europa incrementasse a construção em madeira uma 10%, isto poderia cumprir um 25% do Protocolo de Quito (KP) [33]. Em 2005, as indústrias madeireiras na Europa deram emprego a mais de 3 milhões de pessoas em 350.000 empresas, com uma faturação económica de, aproximadamente, 380 mil milhões de €, produzindo um acréscimo no valor de, aproximadamente, 116 mil milhões de € [38].

Com a utilização da madeira para uso em produtos de longa duração, o CO<sub>2</sub> ficará armazenado na madeira durante um grande intervalo de tempo. Portanto, incrementar o uso da madeira em produtos de longa vida útil é uma simples maneira de reduzir a alteração climática [5].



## 4. OS ACV

A análise do ciclo de vida (ACV) demonstrou ser uma ferramenta valiosa para a análise dos aspetos ambientais de um produto (processo e/ou serviço) que devem formar parte do processo de tomada de decisões até à sustentabilidade [6, 17, 23, 39, 40, 41, 42]. A ideia principal de uma análise do ciclo de vida é definir todas as entradas e saídas relacionadas com a produção, o uso e o maneiio final dos resíduos do produto [35, 41, 42].

A ISO 14040 define os ACV como:

uma técnica utilizada para avaliar os possíveis aspetos ambientais associados a um produto (ou serviço) mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas relevantes, avaliando os potenciais aspetos ambientais associados com as entradas e saídas, e interpretando os resultados do inventário e o impacto nas diferentes fases relacionadas com os objetivos do estudo [6, 9].

Tal como se define nas normas ISO 14040, um estudo típico ACV consta de etapas que estão indicadas na Figura 4.1:

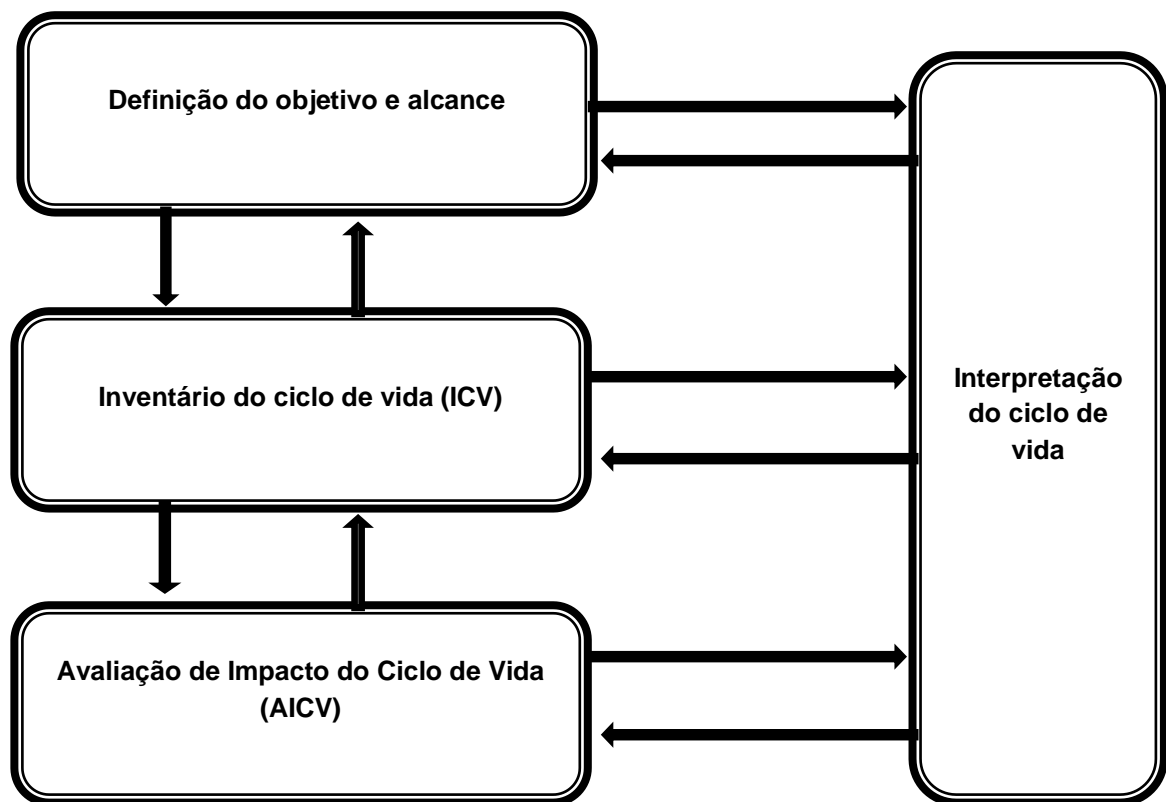


Figura 4.1 - As etapas de um ACV [12]

As etapas de um ACV podem-se definir do seguinte modo:

- I. Definição do objetivo e alcance: definir e descrever o objeto da análise, estabelecer o contexto em que se desenvolve a avaliação, analisar os supostos e a qualidade dos dados, identificar os limites do sistema e os efeitos ambientais. O objeto de estudo descreve-se em quanto a uma unidade funcional (ISO 14041) [6, 11, 41,43].

- II. Inventário do ciclo de vida (ICV): esta fase consiste na recompilação de dados e na modelagem. A compilação de dados, tanto sobre a energia e os fluxos de materiais, e as emissões para o meio ambiente ao longo do ciclo de vida do estudo de caso. De forma geral, os inventários do ciclo de vida e os modelos, realizam-se com pacotes de software específico (ex.: SimaPro, GaBi ou Umberto). Os dados devem estar relacionados em tabelas e algumas interpretações podem ser feitas nesta fase. A tabela ICV proporciona informações sobre as entradas e saídas em forma de fluxos elementares desde e para o meio ambiente, de todos os processos que participam no estudo (ISO 14041) [6, 11, 35, 39, 41, 43].
  
- III. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV): a avaliação dos potenciais impactos associados com as formas identificadas dos recursos utilizados e as emissões ambientais. Esta fase tem como objetivo avaliar a contribuição das categorias do impacto, como o aquecimento global, acidificação, etc. O primeiro passo denomina-se caracterização. Neste caso, os potenciais impactos são calculados baseando-se nos resultados de ICV. Os dois passos seguintes são a normalização e a ponderação, mas este passo é voluntário, de acordo com a norma ISO 14042. A normalização constitui uma base para a comparação dos diferentes tipos de categorias de impacto ambiental (todos os impactos têm a mesma unidade). A ponderação implica a designação de um fator de ponderação a cada categoria de impacto em função da importância relativa (ISO 14042) [6, 11, 39, 41, 43].
  
- IV. Interpretação do ciclo de vida: a interpretação dos resultados das fases anteriores do estudo em relação com os objetivos do estudo. Todas as conclusões são redigidas nesta fase. Às vezes, é necessário um exame crítico independente, principalmente quando são feitas comparações que se utilizam no domínio público (ISO 14043) [6, 11, 41, 43].

Os ciclos de vida que se analisaram nesta tese, tinham o esquema que é apresentado na Figura 4.2.

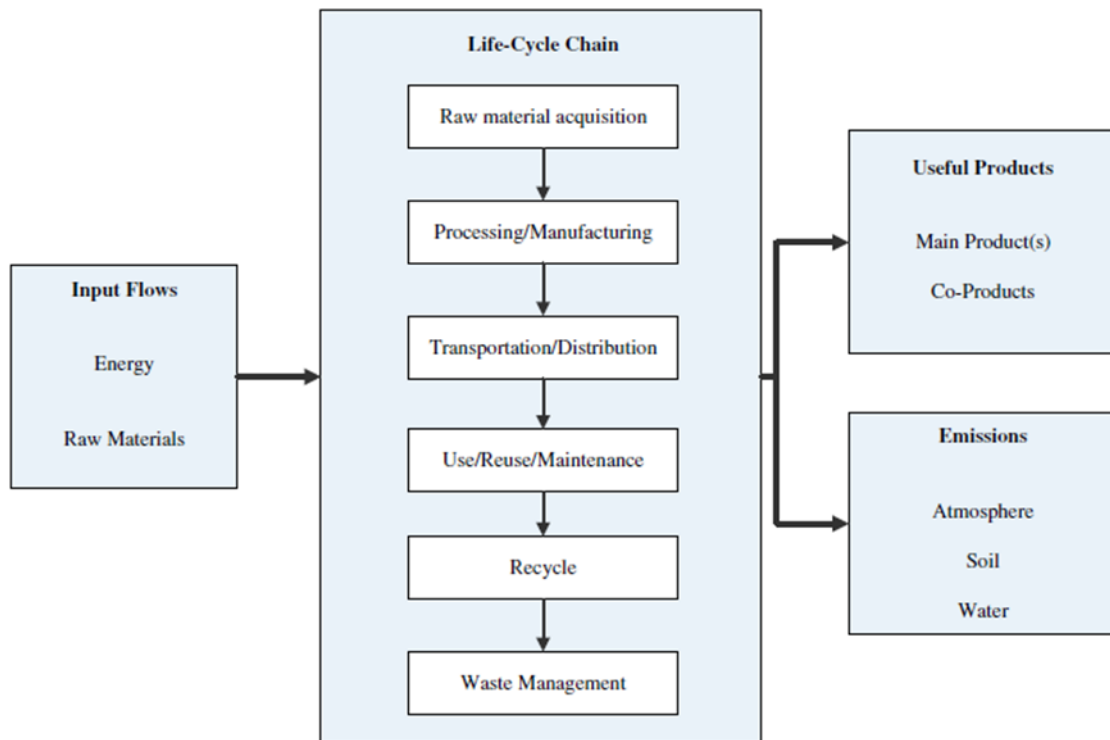


Figura 4.2 - ACV detalhado [11]

Em suma, o ACV é uma ferramenta muito útil para identificar os pontos mais influentes do ciclo de vida de um produto [42].



## 5. PELETES DE MADEIRA

Hoje em dia, os peletes de madeira são uns dos grandes recursos de matérias-primas, de biomassa sólida, comercializados internacionalmente e utilizados especificamente para a produção de energia [44]. Uma série de características únicas faz dos peletes um biocombustível ideal para aquecimento em unidades de combustão, unidades de pequena escala e em instalações de aquecimento industrial [39, 45].

O mercado de peletes de madeira está no seu auge na Europa [44, 45, 46]. Em 2008, a produção de peletes na Europa foi de 8,2 milhões de toneladas, mais de 4 vezes a produção do ano 2001. Atualmente, o seu crescimento está em expansão, tendo a sua maior envergadura nas regiões do noroeste e norte da Europa [18, 46]. Na Figura 5.1 apresentam-se as exportações e as importações de peletes de madeira na Europa:

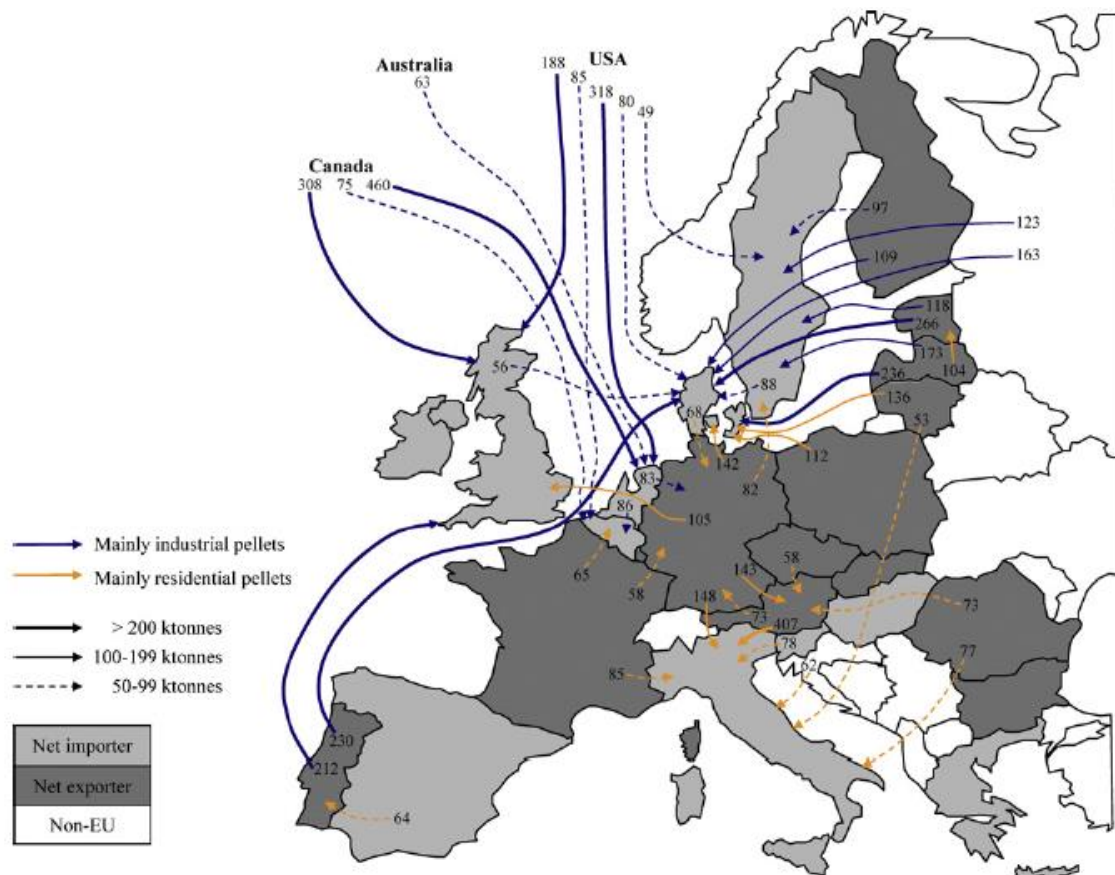


Figura 5.1 - Exportações / Importações, de peletes de madeira na Europa [47]

Em Portugal, foram instalados importantes pontos de produção de peletes desde 2005. Várias instalações de produção foram instaladas em 2008, aumentando a capacidade de produção total à volta de 400.000 toneladas. Além de pequenos produtores, o que mais está em funcionamento são instalações de grande escala [44]. As unidades de produção de peletes

aparecem de norte a sul do território nacional, surgindo em maior concentração no norte do rio Douro e na zona centro dos distritos de Viseu e Leiria, como se pode observar na Figura 5.2 onde cada marcador representa uma unidade de produção de peletes. Os marcadores distinguem-se por cores que representam a capacidade de produção de cada unidade [14].



Figura 5.2 - Produtores de peletes em Portugal [14]

Leyenda:

- Azul-escuro – até 5 000 t/ano.
- Rosa – 5 000 a 10 000 t/ano.
- Verde – 10 000 a 50 000 t/ano.
- Turquesa – 50 000 a 100 000 t/ano.
- Amarelo – igual ou superior a 100 000 t/ano.

Na atualidade, mais de 90% dos peletes produzidos são exportados, principalmente para o norte da Europa. O consumo interno de peletes em Portugal é muito limitado. O consumo anual em 2008 foi de, mais ou menos, 10.000 toneladas [44].



Os peletes chamaram a atenção devido à sua superioridade sobre a biomassa bruta no que diz respeito às suas características físicas e de combustão [39, 44, 45]. Por outro lado, os peletes têm outras vantagens de valor acrescentado sobre a biomassa bruta. A peletização reduz o conteúdo de humidade, aumenta o conteúdo de energia, melhora a eficiência na combustão e produz uma maior homogeneidade da composição em comparação com a biomassa bruta [39, 44]. A densidade aparente dos peletes é de 4 a 10 vezes maior do que a biomassa bruta. Isto torna mais fácil a manipulação e o transporte [44, 45]. Todos estes fatores fazem dos peletes uma forma atrativa de energia, baseada na biomassa [44, 45].

Os balanços de CO<sub>2</sub>, na produção dos peletes de madeira, estão influenciados significativamente pelo CO<sub>2</sub> emitido no tratamento da matéria-prima e, sobretudo, na etapa de secagem, no caso de utilizarem matérias-primas húmidas. Esta etapa ocupa quase mais de uma terça parte do total dos custos de produção de peletes (como veremos mais à frente) [48, 49].

Na Figura 5.3 observa-se um processo básico para a obtenção de peletes.

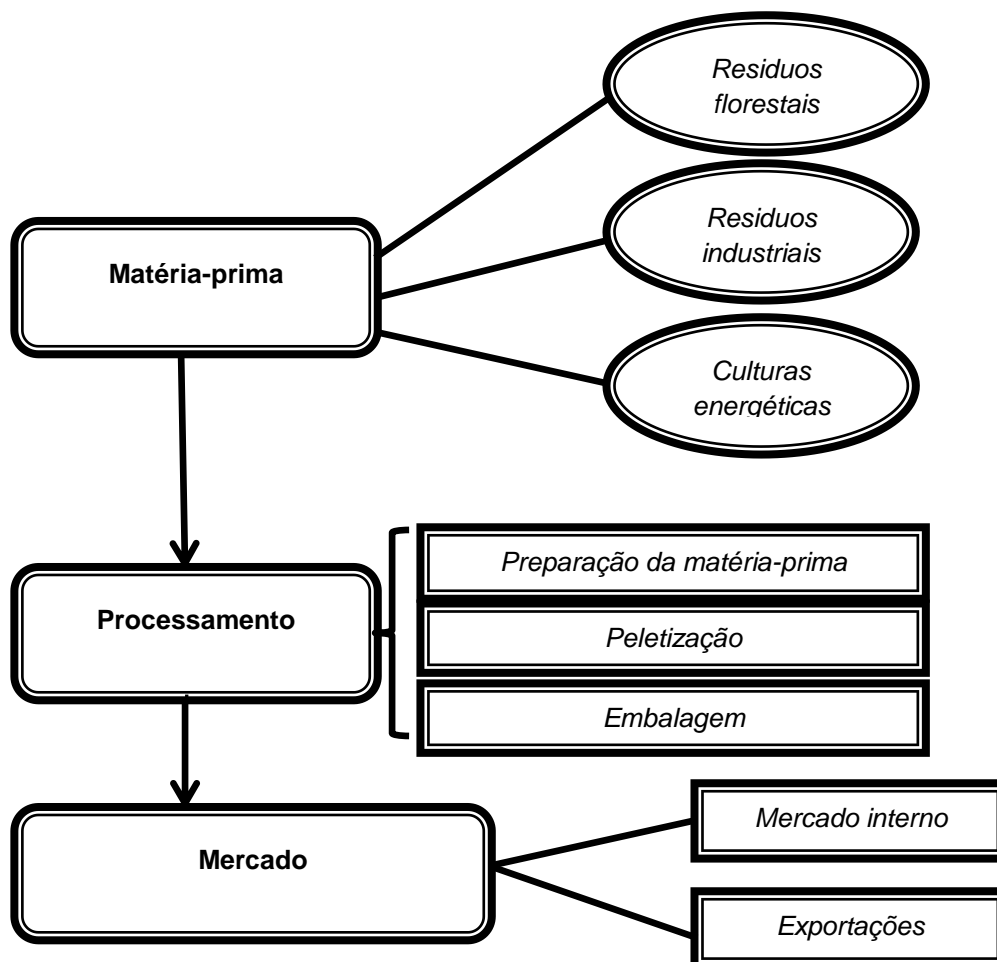


Figura 5.3 - O ciclo de vida dos peletes [47]

Tendo em conta que o processamento é a etapa principal na produção de peletes, na Figura 5.4 mostram-se os passos que normalmente estão compreendidos na etapa de produção de um ACV.

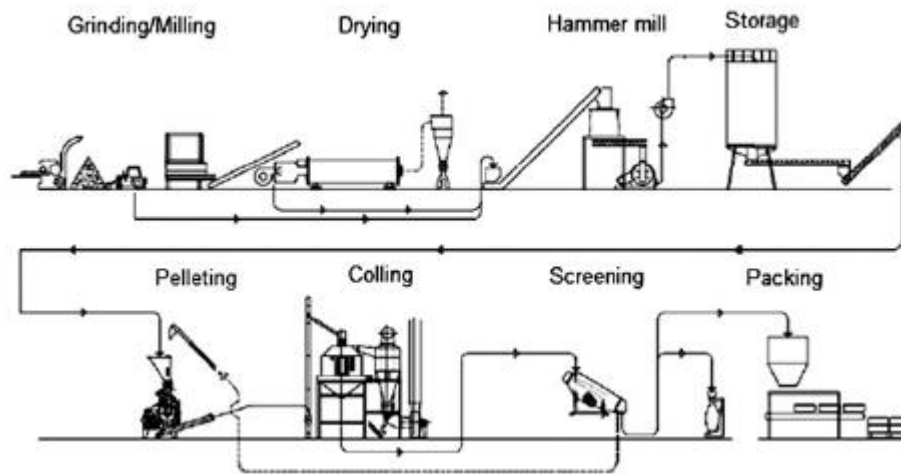


Figura 5.4 - Passos detalhados na etapa de produção dos peletes [43]

## 5.1 Análise de diferentes estudos de peletes de madeira

### 5.1.1 Peletes para uso residencial

Nesta tese, o estudo dos peletes de uso residencial será apresentado mediante os 4 estudos seguintes:

1. Peletes domésticos para “District heating” (Utilização em países do norte da Europa) [44].
2. Peletes de madeira para aquecimento de grandes edifícios (Hedmark, Noruega) [50].
3. Peletes domésticos em sacos pequenos (15 a 25 kg) para aquecimento (Itália) [44].
4. Utilização de peletes domésticos para combustão em estufa (Japão) [52].

A unidade funcional para os diferentes estudos é 1 tonelada de peletes e, como medida de avaliação dos GEE é utilizado Kg CO<sub>2</sub>-eq/1 t peletes.

Para homogeneizar o ciclo de vida de cada estudo, estes são representados em 4 etapas as quais, dependendo do caso exposto, dividir-se-ão em diferentes sub etapas. As 4 etapas básicas no ACV dos peletes são representadas por:

- Obtenção da matéria-prima.
- Produção.
- Distribuição.
- Conversão.

#### **5.1.1.1 Peletes domésticos para “District heating”**

Neste primeiro estudo, é mostrado o comportamento das emissões dos peletes de madeira quando são produzidas para consumo doméstico e para aquecimento coletivo. São usados dados correspondentes aos do norte da Europa, já que é nesta parte do continente Europeu onde os peletes são, habitualmente, destinados a este tipo de uso.

Utilização de um volume médio de, aproximadamente, entre 15 e 20 toneladas de peletes, os quais terão uma qualidade mínima (CEN / TS 14961, Ö-norma DIN plus, DIN 51731) [44].

No estudo de referência, a planta de pellet trabalha aproximadamente 8.000 horas por ano para produzir umas 80.000 toneladas de peletes. A matéria-prima compra-se, na sua totalidade, externamente, e consiste numa percentagens aproximadas de 95% de serrim e 5% de outros resíduos, os quais se supõe que são lascas de madeira [47]. Cerca de 3% dos resíduos de madeira perdem-se durante a manipulação e o armazenamento da matéria-prima, antes da produção de peletes e durante a produção.

Ao serem peletes não industriais (utilizados para a produção de calor), requeremos um passo adicional, a eliminação dos áridos a fim de elevar a qualidade e prevenir a disfunção e a rutura das caldeiras de aquecimento [48].

Utiliza-se diesel para comparar a eficácia dos peletes para a substituição de combustível fóssil, com uma eficácia de 92% [49].

Na Tabela 5.1 apresentam-se as emissões de CO<sub>2</sub>-eq durante o ciclo de vida de peletes de madeira para o seu uso em aquecimento coletivo.

Tabela 5.1 - Peletes domésticos para “District heating” (Uso em países do Norte da Europa) [44]

<b><i>Passos detalhados</i></b>	<b>Balanco de massa</b>	<b>Outros dados</b>	<b>Análise de balanços de CO<sub>2</sub></b>	
	Por tonelada de peletes	Distância, volume e eficiência	Entradas de energia primária (GJ <sub>LHV</sub> / t pellet)	<b>Emissões GEE (kg CO<sub>2</sub>-eq)</b>
<b>1. Matéria-prima de serrações</b>	2,12 t de matéria-prima húmeda	-	0,18	<b>10,2</b>
<b>Compras externas</b>	100%		Insignificante	<b>0</b>
<b>Transporte em camião</b>		D (distância): 75 km. V (volume): 33 t	0,18	<b>10,2</b>
<b>Armazenamento</b>			Insignificante.	<b>0</b>
<b>2. Produção de peletes</b>	95% serrim		3,48	<b>5,10</b>
<b>Secagem com RES (energias renováveis)</b>	2,06		2,45 GJ de combustível e 0,27 GJ de energia em operações	<b>1,35</b>
<b>Trituração</b>	1,01		0,17	<b>0,82</b>
<b>Prensagem</b>	1,01		0,47	<b>2,33</b>
<b>Armazenamento</b>	1		0,01	<b>0,33</b>
<b>Remoção de áridos</b>	1		0,05	<b>0,27</b>
<b>3. Distribuição</b>	Capacidade da planta: 79.716 t peletes por ano		0,61	<b>35,4</b>
<b>Transporte em camião</b>	1	D (distância): 260 km V (volume): 38 t	0,61	<b>35,4</b>
<b>Armazenamento</b>	1		Insignificante.	<b>Insignificante.</b>
<b>4. Conversão. DH (district heating) peletes</b>	1	Eficiência: 92%	1,09 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>0 (CO<sub>2</sub> neutro)</b>
<b>Processo alternativo DH Heavy fuel oil</b>		Eficiência: 90%	1,09 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>94,7 kg CO<sub>2</sub>-eq / GJ<sub>th</sub>.</b>
<b>Soma de emissões</b>				<b>50,7.</b>

Como se pode observar na Tabela 5.1, os dois valores máximos, 35,4 e 10,2, representam tanto a distribuição como a obtenção da matéria-prima. Esta consequência deve-se ao uso de combustível fóssil, como podemos ver na tabela anterior, nos dois pontos anteriores, ponto 1 e ponto 3 da Tabela 5.1. O transporte é o grande culpado dos GEE.

Um dado importante a comentar é a quantidade neutra de CO<sub>2</sub>-eq emitida no processo de conversão. Isto acontece devido a que o uso da biomassa considera-se neutro em CO<sub>2</sub>-eq para 1 t, o passo de conversão, de acordo com a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC). A presente Diretiva tem normas específicas para os impactos de GEE, uma delas é a que se aplica a este caso de estudo e é a seguinte: No processo de resíduos como serrim e lascas, considera-se que as emissões de gases com efeito de estufa na etapa de combustão é zero.

#### **5.1.1.2 Peletes de madeira para aquecimento de grandes edifícios**

Neste segundo caso de estudo, são utilizados os peletes de madeira para gerar calor em edifícios residenciais, utilizando caldeiras de biomassa ao próprio edifício. Neste estudo, serão detalhados os GEE que serão produzidos entre a obtenção da matéria-prima para o fabrico dos peletes até à conversão destes, os peletes de madeira, em calor.

Os GEE estudados neste artigo são CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, que são as principais emissões que afetam o aquecimento global. A obtenção da energia através da combustão de madeira supõe-se que é neutra em CO<sub>2</sub>-eq, e a dimensão temporal da fixação durante o crescimento e a libertação para a atmosfera na combustão não se tem em conta [50].

Para a obtenção do valor de CO<sub>2</sub> equivalente dos diferentes gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O), foi necessário efetuar cálculos que não estavam efetuados no estudo em questão, para poder obter os resultados em “kg CO<sub>2</sub>-eq”. Para isso, foram utilizados os seguintes valores utilizando um fator potencial de aquecimento global para um horizonte temporal de 100 anos e assumindo os seguintes valores [51]:

- 1 gCO<sub>2</sub>=1 gCO<sub>2</sub>-eq.
- 1 gCH<sub>4</sub>=23 gCO<sub>2</sub>-eq.
- 1 gN<sub>2</sub>O=296 gCO<sub>2</sub>-eq.

Os dados para a análise do ciclo de vida dos peletes são da companhia “Norsk trepeletes Langmoen”, em brumunddal, na Noruega. A empresa utiliza serrim e lascas, obtidas a partir de um produtor madeireiro, como matérias-primas. Os peletes utilizam-se em instalações de combustão para o aquecimento de grandes edifícios [50].

Os principais dados, correspondentes aos principais pontos do fabrico de peletes pela empresa “Norsk trepeletes Langmoen”, são os seguintes [50]:

- Produção anual de peletes: 8.000 t.

- Consumo anual de eletricidade: 900.000 kWh.
- Consumo anual de vapor: 200.000 kWh.
- Distância do transporte de serrim/lascas, para a fábrica: 119 km (Valer-Brumunddal).
- Distância do transporte até ao consumidor: 15 km (Brumunddal-Hamar).
- Poder calorífico dos peletes: 4.700 kWh/t.

Na Tabela 5.2, apresentam-se os balanços de CO<sub>2</sub> da utilização de peletes de madeira para o aquecimento de grandes edifícios.

Tabela 5.2 - Peletes de madeira para aquecimento de grandes edifícios (Hedmark, Noruega) [50]

<i>Passos detalhados</i>		Energia utilizada (kWh)			Balanços de GEI			
		Eletricidade	Combustível fóssil	Bio-energia	CO <sub>2</sub> (kg / tpeletes)	CH <sub>4</sub> (g / t peletes)	N <sub>2</sub> O (g / t peletes)	CO <sub>2</sub> -eq (kg / t peletes)
<b>Obtenção da matéria-prima</b>	Produção de Serrim	86	112	0	27	0	4	<b>29</b>
	Transporte	0	25	0	6	0	1	<b>6</b>
	Secagem	0	0	68	0	73	0	<b>1</b>
<b>Produção</b>	Produção de peletes	113	0	25	0	27	0	<b>0</b>
<b>Distribuição</b>	Transporte até ao consumidor	0	3	0	1	0	0	<b>1</b>
<b>Conversão</b>	Combustão	0	0	0	0	300	70	<b>22</b>
<b>Soma</b>								<b>59</b>

Como podemos ver na Tabela 5.2, a maior parte de CO<sub>2</sub>-eq produz-se na etapa da obtenção da matéria-prima, principalmente na produção de serrim e no transporte.

Um dado importante a comentar é a quantidade de CO<sub>2</sub>-eq emitida no processo de conversão. Isto deve-se à não aplicação da Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC), já que está baseado no ano 2006, antes de entrar em vigor a normativa.

#### **5.1.1.3 Peletes domésticos em sacos pequenos (15 a 25 kg) para aquecimento**

Os consumidores italianos compram pequenos sacos em lojas minoritárias e usam-nas em estufas de pequena escala. Os consumidores utilizam individualmente à volta de 5 toneladas por ano. O volume médio transportado é de cerca de 0,25 toneladas [44].

A produção da matéria-prima é nacional, proporcionada a partir de serrarias nacionais.

A planta de peletes trabalha cerca de 8.000 horas por ano para produzir cerca de 40.000 toneladas de peletes [44].

Estima-se que cerca de 25% da matéria-prima é comprada externamente. As fábricas integradas de peletes oferecem 75% da matéria-prima. Estas fábricas são bastante comuns na Itália.

Em média, cerca de 1,78 toneladas de matéria-prima (com um conteúdo médio de humidade de 47%) são necessárias para produzir uma tonelada de peletes (com 10% de humidade). As perdas de peso seco de todo o processo são de cerca de 3% [44].

Na Tabela 5.3, apresentam-se as emissões de GEE durante o ciclo de vida de peletes em sacos pequenos para uso doméstico.

Tabela 5.3 - Peletes domésticos em sacos pequenos (15 a 25 kg) para aquecimento (Itália) [44]

<i><b>Passos detalhados</b></i>	<b>Balço de masa</b>	<b>Outros dados</b>	<b>Análise de balanços de CO<sub>2</sub></b>	
	Por tonelada de peletes	Distância, volume e eficiência	Entradas de energia primaria (GJ <sub>LHV</sub> / t peletes)	<b>Emissões GEE (kg CO<sub>2</sub>-eq)</b>
<b>1. Matéria-prima de serrações</b>	1,78 t de materia prima húmeda	-	0,47	<b>27,2</b>
<b>Compra externa</b>	25%		Insignificante	<b>0</b>
<b>Transporte en camião</b>		D (distância): 200 km V (volume): 34 t	0,47	<b>27,2</b>
<b>Armazenamento</b>			Insignificante	<b>0</b>
<b>2. Produção de peletes</b>	80% serrim 20% lascas		1,57	<b>74,9</b>
<b>Secagem com RES (energias renováveis)</b>	1,73		4,97 GJ de combustível e 0,05 GJ de energia em operações	<b>3,5</b>
<b>Trituração</b>	1,01		0,2	<b>13,9</b>
<b>Prensagem, colagem, etc</b>	1,01		0,6	<b>39,4</b>
<b>Armazenamento</b>	1		0,1	<b>3,8</b>
<b>Remoção de áridos</b>	1		0,07	<b>4,3</b>
<b>3. Distribuição</b>	Capacidade da planta: 40.000 t peletes por ano		0,61	<b>79,1</b>
<b>Acondicionamento de peletes</b>	1		0,04	<b>2,6</b>
<b>Transporte em camião áte minoristas</b>	1	D (distância): 200 km V (volume): 24 t	0,43	<b>25</b>
<b>Transporte em carro particular</b>	1	D (distância): 93 km V (volume): 0,25 t (250 kg)	0,66	<b>51,5</b>
<b>4. Conversão.</b>	1	Eficiência:	1,17 prim	<b>0 (CO<sub>2</sub></b>

<b>Aquecimento de lar</b>		85%	MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>neutro)</b>
<b>Aquecimento particular por gás natural</b>		Eficiência: 88%	1,30 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>75,7 kg CO<sub>2</sub>-eq / GJ<sub>th</sub></b>
<b>Soma de emissões</b>				<b>181,2</b>

Neste ACV aparecem três dados muito importantes: o transporte da matéria-prima num camião até à fábrica de produção de peletes (27,2 kg CO<sub>2</sub>-eq), a quantidade de GEE no momento da prensa da produção de peletes (39,5 kg CO<sub>2</sub>-eq) e a quantidade de GEE produzida pelo transporte dos sacos de peletes em carros pessoais (51,5 kg CO<sub>2</sub>-eq). Estes pontos devem ser tidos em conta pelas suas altas emissões, comparadas com a emissão final do produto.

A ter em conta a quantidade neutra de CO<sub>2</sub>-eq emitida no processo de conversão. Isto é devido a que o uso da biomassa considera-se neutro em CO<sub>2</sub>-eq, o passo de conversão, de acordo com a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC). A presente Diretiva tem normas específicas para os impactos de GEE, uma delas é a que se aplica a este caso de estudo e é a seguinte: No processamento de resíduos como serrim e lascas, considera-se que as emissões de gases com efeito de estufa na etapa de combustão é zero.

#### **5.1.1.4 Utilização de peletes domésticos para combustão em estufa (Japão)**

O objetivo deste estudo foi desenhar um sistema energético baseado em biomassa lenhosa para substituir um sistema que utiliza combustível de origem fóssil, reduzindo assim os custos e a carga medioambiental. Neste estudo, utilizam-se resíduos florestais como matéria-prima para a criação de peletes de madeira, para a sua utilização em caldeiras domésticas [52].

Nestes casos, os resíduos florestais são utilizados para a produção dos peletes de madeira. Neste âmbito, apesar de que se cultivam à volta de 2.000 m<sup>3</sup> de madeira anualmente, 29% da madeira que se pode processar para a construção e o fabrico de papel é utilizada apenas para satisfazer as demandas da indústria, e a madeira importada utiliza-se para satisfazer a demanda que sobra para outras necessidades. A madeira continua a ser cultivada de forma sustentável cada ano e utiliza-se para cumprir esta demanda, e a madeira que excede a demanda industrial utiliza-se para a produção de peletes de madeira. Sobre a base desta hipótese, aproximadamente 46% da madeira pode ser utilizada como peletes de madeira [52].

No caso deste estudo, foi necessário efetuar cálculos que não tinham sido realizados no papel para poder obter os resultados em “kg CO<sub>2</sub>-eq”.

Supõe-se que os peletes de madeira são fabricados, empacotados e, em seguida, são consumidos imediatamente, ou seja, o armazenamento e o processo não foram tidos em conta.

Na Tabela 5.4 mostra-se o balance de GEE na utilização de 1 t de peletes em estufas domésticas, no Japão.



Tabela 5.4 - Utilização de peletes domésticos para combustão em estufa (Japão) [52]

<b><i>Passos detalhados</i></b>		<b>Balanços de Gases de Efeito Estufa</b>			
		CO <sub>2</sub> (kg / t peletes)	CH <sub>4</sub> (g / t peletes)	N <sub>2</sub> O (g / t peletes)	CO <sub>2</sub> -eq (kg / t- peletes)
<b><i>Obtenção da matéria-prima</i></b>	Corte de árvores [*/t-peletes]	13	0,5	0,3	<b>14</b>
	Transporte da madeira [*/t-peletes]	7	0,1	0,1	<b>8</b>
	Lascamento [*/t-peletes]	1	0	0	<b>0,5</b>
	Pulverização e desidratação [*/t-peletes]	8	0	0	<b>8</b>
<b><i>Produção</i></b>	Fabrico de peletes [*/t-peletes]	12	0	0	<b>12</b>
<b><i>Distribuição</i></b>	Transporte dos peletes [*/t-peletes]	17	0,5	0,3	<b>18</b>
<b><i>Conversão</i></b>	CO <sub>2</sub> derivado da combustão [*/t-peletes]	22	0	0	<b>22</b>
	<i>Soma</i>				<b>82,5</b>

\*Cada unidade de carga medio ambiental e custo medio ambiental.

Como se pode comprovar nos dados da Tabela 5.4, as emissões mais importantes produzem-se na obtenção da matéria-prima e no transporte dos peletes. Isto é assim devido ao uso de grande quantidade de combustível fóssil nos dois processos.

Neste caso, obtêm-se emissões de CO<sub>2</sub>-eq e estas não podem ser consideradas neutras devido a que, por ser um estudo japonês, não se pode aplicar a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC).

### 5.1.1.5 Comparação dos estudos relativos a peletes residenciais

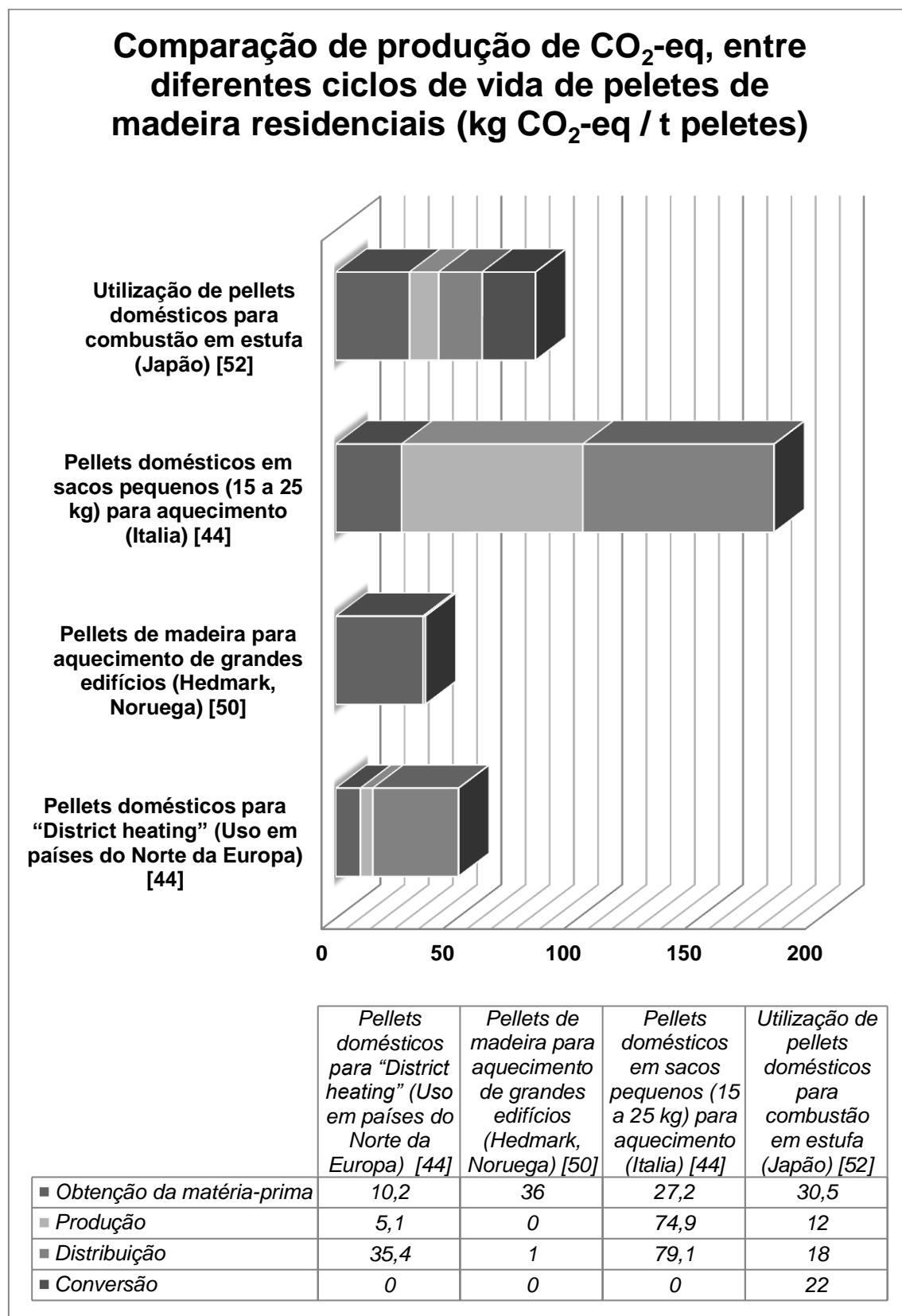


Figura 5.5 - Comparação de produção de CO<sub>2</sub>-eq, entre diferentes ciclos de vida de peletes de madeira residenciais

Tendo em conta os resultados totais de emissões de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida de cada estudo (1- 50,7 kg CO<sub>2</sub>-eq / t-peletes; 2- 37 kg CO<sub>2</sub>-eq / t-peletes; 3- 90,3\*1 kg CO<sub>2</sub>-eq / t-peletes; 4- 60,5\*2 kg CO<sub>2</sub>-eq / t-peletes), pode-se deduzir que as emissões médias de GEE é de 60 kg CO<sub>2</sub>-eq / t-peletes domésticos.

As maiores emissões no ciclo de vida dos peletes destinados a uso doméstico dão-se tanto na obtenção da matéria-prima como na distribuição.

A secagem da matéria-prima aumentará consideravelmente as suas emissões de CO<sub>2</sub>. Outra etapa que aumenta o balance negativo em CO<sub>2</sub> é a distribuição dos peletes se esta for realizada pelo próprio consumidor. Neste aspeto, dependendo da distância entre a fábrica e o lar, pode aumentar demasiado o balance de CO<sub>2</sub>.

\*1; Eliminando a distribuição em carro próprio e eliminando o dado sobre a prensagem, colagem e outros.

\*2; Eliminação de 22 kg CO<sub>2</sub> na etapa de conversão devido a que esta emissão ter-se-ia em conta se tivesse sido estudado o mercado asiático. Neste caso é estudado o mercado europeu, portanto é utilizada a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC).

### **5.1.2 Peletes para uso industrial**

Nesta tese, o estudo dos peletes de uso industrial será apresentado mediante os 4 estudos seguintes:

1. Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes (Holanda) [44].
- 1\*. Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes, secagem com gás natural (Holanda). [44].
2. Peletes de madeira industriales, para comercio internacional (Suecia) [55].
- 2\*. Peletes de madeira industriales, para comercio internacional, secados con gas natural (Suecia) [55].

A unidade funcional para os diferentes estudos é 1 tonelada de peletes e, como medida de avaliação dos GEE é utilizado kg CO<sub>2</sub>-eq/1 t peletes.

Para homogeneizar o ciclo de vida de cada estudo, estes são representados em 4 etapas as quais, dependendo do caso exposto, dividir-se-ão em diferentes sub etapas. As 4 etapas básicas no ACV dos peletes são representadas por:

- Obtenção da materia-prima.
- Produção.
- Distribuição.

- Conversão.

### **5.1.2.1 Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes (Holanda)**

Neste caso, analisa-se o ciclo de vida de peletes industriais produzidos no Canadá e transportados até à Europa pela grande demanda de peletes que existe no velho continente.

A matéria-prima, neste caso, provém do exterior. Os peletes industriais são transportados em comboio até aos portos de exportação do Canadá. Depois são enviados em grandes graneleiros até à Europa e, finalmente, são transferidos desde os principais portos holandeses, Roterdão e Amsterdão, em barcos fluviais até ao interior, onde os peletes são entregues na central elétrica [44].

Os dados básicos para a produção de peletes no Canadá extraem-se de um estudo de uma instalação de peletes em grande escala [53]. A instalação tem uma capacidade anual de produção de, aproximadamente, 150.000 toneladas e trabalha cerca de 7.500 horas anuais. A matéria-prima consiste em partes similares de serrim seco e húmido. Estima-se que 72% é adquirido externamente [53], enquanto a parte restante é obtida a partir de resíduos de aproveitamento florestal das imediações. Cerca de 1,57 toneladas de matéria-prima (com um conteúdo médio de humidade de 36%) é necessária para produzir uma tonelada de peletes (6% de humidade).

A eficiência da combustão dos peletes de madeira na central térmica é de 40,1% [54].

Tabela 5.5 - Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes (Holanda) [44]

<b><i>Passos detalhados</i></b>	<b>Balço de massa</b>	<b>Outros dados</b>	<b>Análise de balanços de CO<sub>2</sub></b>	
	Por tonelada de peletes	Distância, volume e eficiência	Entradas de energia primária (GJ <sub>LHV</sub> / t peletes)	<b>Emissões GEE (kg CO<sub>2</sub>-eq)</b>
<b>1. Matéria-prima de serração</b>	1,57 t de matéria-prima húmida por tonelada de peletes	-	0,33	<b>22,4</b>
<b>Compras externas</b>	73%		Insignificante	<b>0</b>
<b>Transporte em camião</b>		D (distância): 207 km V (volume): 24 t	0,33	<b>22,4</b>
<b>Armazenamento</b>			Insignificante	<b>0</b>
<b>2. Produção de peletes</b>	49% serrim 51% lascas		4,7	<b>58,7</b>
<b>Secagem com RES (energias)</b>	1,52		3,8 GJ de combustível e 0,43	<b>14,7</b>

<i>renováveis)</i>			GJ de energia em operações	
<b>Trituração</b>	1,04		0,3	<b>11,4</b>
<b>Prensagem</b>	1,04		0,9	<b>32</b>
<b>Armazenamento</b>			0,01	<b>0,3</b>
<b>3. Distribuição</b>	Capacidade da planta: 150.000 t peletes por año		1,2	<b>95,7</b>
<b>Transporte em comboio</b>	1,03	D (distância): 781 km	0,26	<b>22,7</b>
<b>Armazenamento no porto de saída</b>	1,03		Insignificable	<b>0.</b>
<b>Transporte oceânico</b>	1,02	D (distância): 16.500 km 40 kt	0,75	<b>60,4</b>
<b>Armazenamento no porto de chegada</b>	1		0,02	<b>1,1</b>
<b>Via transporte fluvial</b>	1	D (distância): 100 km V (volume): 4.000 t	0,06	<b>4,6</b>
<b>Manuseio em planta de energia</b>	1		0,11	
<b>4. Conversão (10% co-firing)</b>	1	Eficiência: 40,1%	8,98 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>0 (CO<sub>2</sub> neutro)</b>
<b>Processo alternativo (100% carvão)</b>		Eficiência: 41%	12,46 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>1,8 kg CO<sub>2</sub>-eq / kWh</b>
<b>Soma de emissões</b>				<b>176,6</b>

Como se pode apreciar na Tabela 5.5, a secagem do material em etapas de produção dos peletes foi realizada utilizando energias renováveis (RES). Mas se tivesse sido realizada mediante gás natural (1\*), o CO<sub>2</sub> produzido no ciclo de vida do produto seria muito diferente como é mostrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Peletes industriais para a produção de eletricidade para grandes consumidores com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de peletes, secagem com gás natural (Holanda). [44]

<b><i>Passos detalhados</i></b>	<b>Balanco de massa</b>	<b>Outros dados</b>	<b>Análise de balanços de CO<sub>2</sub></b>	
	Por tonelada de peletes	Distância, volume e eficiencia	Entradas de energia primária. (GJ <sub>LHV</sub> / t peletes)	<b>Emissões GEE (kg CO<sub>2</sub>-eq)</b>
<b>1. Matéria-prima de serrações</b>	1,57 t de matéria-prima húmida por tonelada de peletes	-	0,33	<b>22,4</b>
<b>Compras externas</b>	73%		Insignificante	<b>0</b>
<b>Transporte em camião</b>		D (distância): 207 km V (volume): 24 t	0,33	<b>22,4</b>
<b>Armazenamento</b>			Insignificante	<b>0</b>

<b>2. Produção de peletes</b>	49% serrim 51% lascas		4,7	<b>211</b>
<b>Secagem com gás natural</b>	1,52		3,0 GJ de combustível e 0,43 GJ de energia em operações	<b>167,3</b>
<b>Trituração</b>	1,04		0,3	<b>11,4</b>
<b>Prensagem</b>	1,04		0,9	<b>32</b>
<b>Armazenamento</b>			0,01	<b>0,3</b>
<b>3. Distribuição</b>	Capacidade da planta: 150.000 t peletes por ano		1,2	<b>95,7</b>
<b>Transporte em comboio</b>	1,03	D (distância): 781 km	0,26	<b>22,7</b>
<b>Armazenamento no porto de saída</b>	1,03		Insignificante	<b>0</b>
<b>Transporte oceânico</b>	1,02	D (distância): 16.500 km V:40 kt	0,75	<b>60,4</b>
<b>Armazenamento no porto de chegada</b>	1		0,02	<b>1,1</b>
<b>Via transporte fluvial</b>	1	D: 100 km V: 4.000 t	0,06	<b>4,6</b>
<b>Manuseio em planta de energia</b>	1		0,11	
<b>4. Conversão (10% co-firing)</b>	1	Eficiência: 40,1%	8,98 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>0 (CO<sub>2</sub> neutro)</b>
<b>Processo alternativo (100% carvão)</b>		Eficiência: 41%	12,46 prim MJ <sub>LHV</sub> /kWh	<b>1,08 kg CO<sub>2</sub>-eq / kWh</b>
<b>Soma de emissões</b>				<b>329</b>

Como se pode observar nas Tabelas 5.5 e 5.6, a etapa do ciclo de vida onde mais CO<sub>2</sub>-eq é produzido é na etapa de distribuição (se descartarmos a secagem por gás natural). Isto é devido ao uso de combustível fóssil no transporte marítimo e à longa distância que compreende o transporte desde o Canadá até à Europa. A conversão é valorizada como neutra em CO<sub>2</sub> por causa da Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC).

Fazendo uma comparação entre as tabelas, podemos observar que utilizando gás natural para a secagem, só esta etapa produz um 51% das emissões totais de CO<sub>2</sub>-eq do ciclo de vida de 1 tonelada de peletes. No entanto, se utilizarmos RES para este processo, a etapa só produz 8% das emissões totais de CO<sub>2</sub>-eq do ciclo de vida de 1 toneladas de peletes.

#### **5.1.2.2 Peletes de madeira industriais, para comercio internacional (Suécia)**

O estudo [55] centra-se nos peletes de madeira produzidos na “British Columbia”, situada na costa oeste do Canadá. Mais de 2/3 de peletes de madeira canadense são produzidos nesta

região. A planta de produção selecionada para a análise encontra-se na localidade de Prince George, onde se encontram a maior parte das plantas de produção de peletes do Canadá. O porto de embarque marítimo para a Europa encontra-se em Vancouver. Os peletes de madeira procedentes do Canadá são enviados para a Suécia, Países Baixos, Bélgica e para os países do norte da Europa. No entanto, neste trabalho, baseamo-nos apenas no porto de Estocolmo, que representa o destino mais utilizado no envio de peletes para o continente Europeu.

Neste trabalho [55] é utilizada unicamente madeira procedente de florestas naturais, deixando excluída a reflorestação. Estima-se que a distância média para o transporte de madeira até à serraria seja de 110 km.

Para calcular as emissões de CO<sub>2</sub>-eq para a produção de uma tonelada de peletes de madeira, supõe-se que são requeridas 7,8 toneladas por hora (t/h) de serrim, com um 40% de conteúdo de humidade, para obter 5 toneladas por hora de peletes, nas instalações de produção.

Para calcular os GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), foram utilizadas as equivalências para os 3 gases mais importantes num período de 100 anos de vida [51], tal como foi indicado anteriormente.

Na Tabela 5.7 apresentam-se as emissões de GEE dos peletes de madeira industrial para o comércio internacional (Suécia).

Tabela 5.7 - Peletes de madeira industriais, para comercio internacional (Suécia) [55]

<i>Passos detalhados</i>		<b>Energia consumida (g / t peletes)</b>	<b>Balanços de GEE</b>			
			CO <sub>2</sub> (g / t peletes)	CH <sub>4</sub> (g / t peletes)	N <sub>2</sub> O (g / t peletes)	CO <sub>2</sub> -eq (kg / t peletes)
<b>Obtenção da matéria-prima</b>	Produção da matéria-prima	0,53	29850	24,3	2,6	<b>32</b>
	Transporte da materia-prima	0,07	4675	0,4	0,1	<b>7</b>
<b>Produção</b>	Produção de peletes	3,78	27800	5,3	0,2	<b>48</b>
<b>Distribuição</b>	Transporte em comboio	0,26	12785	-	-	<b>23</b>
	Transporte em barco	2,6	206440	23	5	<b>423</b>
<b>Conversão</b>						<b>22</b>
	Soma					<b>555</b>

Como se pode apreciar na Tabela 5.7, a secagem do material, na etapa de produção dos peletes, foi realizada utilizando RES. Se tivesse sido realizada mediante gás natural (2\*), o CO<sub>2</sub> produzido no ciclo de vida do produto seria muito diferente, como é mostrado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Peletes de madeira industriais, para comercio internacional secagem com gás natural (Suécia) [55]

<i>Passos detalhados</i>		<b>Energia consumida (g / t peletes)</b>	<b>Balancos de GEE</b>			
			CO <sub>2</sub> (g / t peletes)	CH <sub>4</sub> (g / t peletes)	N <sub>2</sub> O (g / t peletes)	CO <sub>2</sub> -eq (kg / t peletes)
<b>Obtenção da matéria-prima</b>	Produção da matéria-prima	0,53	29850	24,3	2,6	<b>32</b>
	Transporte da matéria-prima	0,07	4675	0,4	0,1	<b>7</b>
<b>Produção</b>	Produção de peletes	2,97	193000	924	3	<b>239</b>
<b>Distribuição</b>	Transporte em comboio	0,26	12785	-	-	<b>23</b>
	Transporte em barco	2,6	206440	23	5	<b>423</b>
<b>Conversão</b>						<b>22</b>
	Soma					<b>766</b>

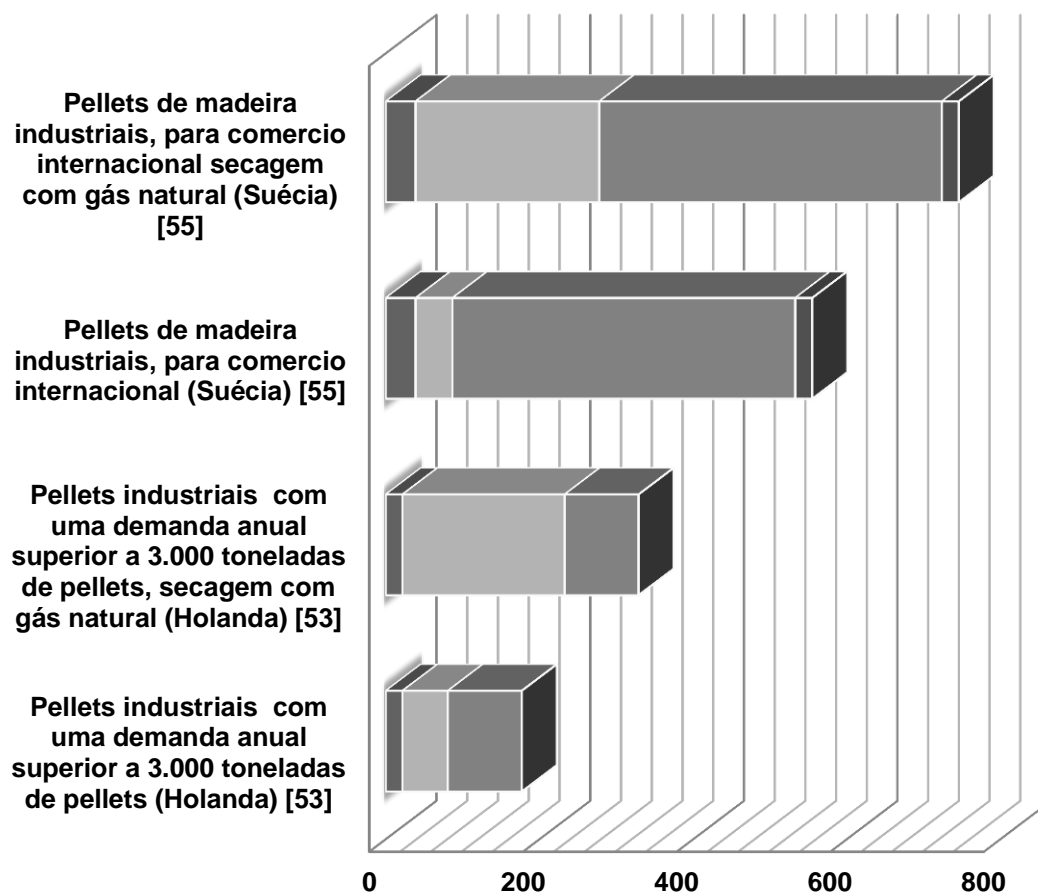
Como se observa na Tabela 5.7 e na Tabela 5.8, a etapa do ciclo de vida onde mais CO<sub>2</sub> é produzido é na etapa de distribuição (se descartarmos a secagem por gás natural). Isto deve-se ao uso de combustível fóssil no transporte marítimo e à longa distância que compreende o transporte desde o Canadá até à Europa. A conversão não pode ser valorizada já que não se dispõe de dados sobre esta etapa. Assim, serão tomadas as emissões de outros trabalhos, utilizando madeira virgem e não tendo em conta a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC), já que se menciona que é utilizada matéria virgem no material reciclado como, por exemplo, serrim e lascas.

Fazendo uma comparação entre a Tabela 5.7 e a Tabela 5.8, pode-se observar que utilizando gás natural para a secagem, no processo de produção de peletes, esta etapa produz 33% das emissões totais de CO<sub>2</sub> do ciclo de vida de 1 tonelada de peletes. Por outro lado, se utilizarmos RES para o processo de produção dos peletes, só produz 8% das emissões totais de CO<sub>2</sub> do ciclo de vida de 1 tonelada de peletes.



### 5.1.2.3 Comparação dos estudos relativos a peletes de madeira industrial.

#### Comparação de produção de CO<sub>2</sub>-eq, entre diferentes ciclos de vida de peletes de madeira industriais (kg CO<sub>2</sub>-eq / t peletes)



	<i>Pellets industriais com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de pellets (Holanda) [53]</i>	<i>Pellets industriais com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de pellets, secagem com gás natural (Holanda) [53]</i>	<i>Pellets de madeira industriais, para comercio internacional (Suécia) [55]</i>	<i>Pellets de madeira industriais, para comercio internacional secagem com gás natural (Suécia) [55]</i>
■ Obtenção da matéria-prima	22	22	39	39
■ Produção	59	211	48	239
■ Distribuição	96	96	446	446
■ Conversão	0	0	22	22

Figura 5.6 - Comparação de produção de CO<sub>2</sub>-eq, entre diferentes ciclos de vida de peletes de madeira industriais.

Tendo em conta os resultados totais de emissões de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida de cada estudo (1- 117\*1 kg CO<sub>2</sub>-eq / t; 1\*- 269\*1 kg CO<sub>2</sub>-eq / t; 2- 110\*1 kg CO<sub>2</sub>-eq / t; 2\*- 321\*1 kg CO<sub>2</sub>-eq / t), pode-se deduzir que a emissão média de GEE para a produção de 1 tonelada de peletes industriais é de 114 kg CO<sub>2</sub>-eq/t peletes, se forem utilizados RES para a secagem do material na produção dos peletes de madeira. A emissão média é de 296 kg CO<sub>2</sub>-eq / t peletes se for utilizado gás natural para a secagem do material na produção dos peletes.

As maiores emissões no ciclo de vida dos peletes, destinado ao uso industrial, dão-se tanto na produção como na distribuição.

Algo muito importante a ter em conta na produção dos peletes industriais é o transporte, o qual pode gerar grandes somas de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida do produto como consequência da utilização de combustível fóssil.

\*1; Sem ter em conta o transporte marítimo.

## **5.2 Comparação entre peletes de madeira, industriais e domésticos. Conclusões dos seus diferentes ciclos de vida para a sua comparação com os materiais de construção**

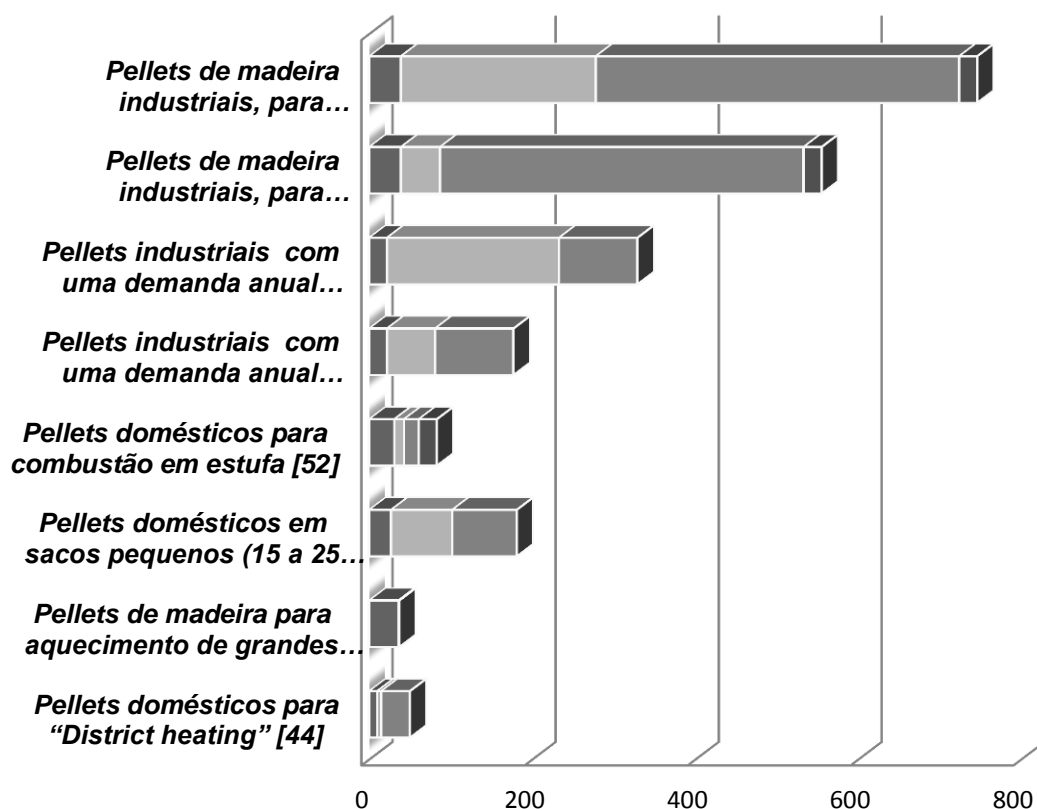
Para fazer um resumo, com a sua correspondente comparação de emissões, serão apresentados os pontos mais importantes dos processos de produção de peletes, tanto industriais como domésticos, e, assim, poder tornar factível a comparação final com os materiais de construção.

O ciclo de vida dos peletes é dividido em 4 partes:

- *Obtenção da matéria-prima.*
- *Produção dos peletes.*
- *Distribuição.*
- *Conversão.*

Na Figura 5.3 mostra-se uma comparação entre os GEE emitidos pelos peletes para uso doméstico e peletes para uso industrial. Após da Figura 5.3 são mostradas conclusões sobre os diferentes ciclos de vida dos peletes domésticos e industriais.

## Emissões de GEE de diferentes tipos de peletes (kg CO<sub>2</sub> eq / t peletes)



	Pellets domésticos para "District heating" [44]	Pellets de madeira para aquecimento de grandes edifícios [50]	Pellets domésticos em sacos pequenos (15 a 25 kg) para aquecimento [44]	Pellets domésticos para combustão em estufa [52]	Pellets industriais com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de pellets [44]	Pellets industriais com uma demanda anual superior a 3.000 toneladas de pellets, secagem com gás natural [44]	Pellets de madeira industriais, para comércio internacional secagem com gás natural [55]
■ Obtenção da matéria-prima	10	36	27	31	22	22	39
■ Produção	5	0	75	12	59	211	48
■ Distribuição	35	1	79	18	96	96	446
■ Conversão	0	0	0	22	0	0	22

Figura 5.7 - Emissões de GEE de diferentes tipos de peletes (kg CO<sub>2</sub>-eq / t peletes)

### ***I. Obtenção da matéria-prima***

- Se a matéria-prima (extração e processo) for realizada diretamente pelo produtor, este ponto pode ter um custo em emissões de CO<sub>2</sub>-eq importante no transcurso do ciclo de vida dos peletes de madeira (casos 2 e 4).
- Neste ponto do ciclo de vida, o aspeto mais importante é a “**distância da matéria-prima**” até à fábrica de produção. Também, como ponto de altas emissões, neste passo inicial, cabe indicar que é tão importante ter a opção de utilizar restos de produtos, para a elaboração de peletes, como serrim e lascas, e não ter de talhar árvores diretamente( o processo de extração da madeira pode ser poupado) como matéria-prima, o que aumenta as emissões de CO<sub>2</sub>-eq no processo.

### ***II. Produção de peletes***

- O uso de aderentes, aumentará a proporção de CO<sub>2</sub>-eq emitidos. O valor da emissão irá depender do tipo de aderente utilizado (casos 3, 5, 6).
- Num estudo de produção de peletes, há que ter em conta o passo de “secagem”. Dependendo da via que se utilize para a sua realização, pode chegar a porcentagens muito elevadas, à volta de 30 ou 50% das emissões totais de CO<sub>2</sub>-eq, num total do ciclo de vida dos peletes de madeira, se for utilizado o gás natural como secante (casos 6 y 8).

### ***III. Distribuição***

- Esta etapa é a mais irregular do ciclo de vida dos peletes. Dependendo do seu destino final, utilizar-se-á um transporte ou outro, e recorrer-se-á uma distância ou outra. Portanto, é o ponto menos indicado e, ao mesmo tempo, mais importante no ciclo de vida dos peletes (exemplo importante: caso 7).

### ***IV. Conversão***

- Podem ser comentadas duas alternativas possíveis neste último ponto do ciclo de vida. A primeira é onde é obtida a matéria-prima através da “talhagem de árvores” onde o CO<sub>2</sub>-eq emitido não é neutro, obtendo 22 kg de CO<sub>2</sub>-eq por tonelada de peletes. A segunda alternativa seria a utilização de resíduos como matéria-prima como, por exemplo, serrim e lascas, onde tomando a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC), as emissões de CO<sub>2</sub>-eq seriam neutras para esta época.

## 6. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A madeira foi “o material” de construção tradicional. Este foi amplamente utilizado para numerosas aplicações no setor da construção como, por exemplo, para molduras, pavimentos, tetos e para isolamento. Em tempos relativamente recentes, uma gama de materiais alternativos foi introduzida com êxito na indústria da construção, tais como o aço, o cimento, o alumínio e os plásticos. A seleção dos materiais usados na construção depende da utilização prevista do edifício, do seu desenho e da sua arquitetura. No passado, os fatores que tinham mais influência na seleção dos materiais de construção foram, principalmente, o custo, a disponibilidade e a aparência. No entanto, atualmente, a sustentabilidade medioambiental dos materiais cobra uma importância cada vez maior para os consumidores [56, 57, 58].

De acordo com o Presidente do Conselho de Energia Mundial, “o crescimento sustentável já não é uma opção, é uma necessidade” [56]. Atualmente, a atenção está centrada no aquecimento global e na maneira em como este grande problema pode tornar mais lento e mitigar os seus efeitos. Isto implica reduzir significativamente os GEE. Uma área fundamental onde este pode ser um objetivo é o entorno da construção: mais de 40% das emissões de carbono na Europa são produzidas a partir da energia utilizada nos materiais de construção [56, 59].

A madeira como material natural sem emissões de CO<sub>2</sub>, e como fonte energética, desempenha um papel importante no debate sobre a mitigação da alteração climática. Produtos de madeira de longa duração, em particular, podem contribuir à mitigação da alteração climática de diferentes formas [58, 60].

Nos últimos anos, o debate político na indústria florestal e madeireira centrou-se, em maior medida, no facto de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa abordadas no Protocolo de Quioto (KP) (2008-2012). As florestas podem ser explicadas como um sumidouro de C ou como fonte de C, de acordo com os artigos 3.3 e 3.4 do “Protocolo de Quioto”. A nível internacional, as negociações estão em funcionamento sobre a capacidade de extrair os produtos de madeira (HWP) nos períodos de compromisso subsequentes ao KP: os produtos madeireiros atuam como reservas de carbono ao longo da sua vida. Desta maneira, estende-se o tempo de permanência do C armazenado na madeira e, portanto, evita-se que volte à atmosfera em forma de CO<sub>2</sub> durante um certo período de tempo. Vários estudos trataram de quantificar estas quantidades e as alterações nas quantidades de alguns países e, em particular, no setor da construção. Frente a isto, o aumento das quantidades nas florestas é travado, através do uso da madeira, e o efeito sumidouro é reduzido. Se a extração exceder o incremento neto, as quantidades médias de crescimento irão diminuindo e a floresta converter-se-á numa fonte de CO<sub>2</sub> [58, 60].

Com o objetivo de mitigar a alteração climática, houve um crescente interesse em encontrar formas eficientes de utilizar a biomassa para substituir os combustíveis fósseis e materiais não biomássicos. O aumento do uso da madeira na construção foi visto como uma opção importante para este caso. O uso da madeira como material de construção afeta o balanço de carbono através de, pelo menos, três formas diferentes: [29, 37, 60].

- Armazenamento pela floresta (Forest sequestration): Durante a vida útil de um produto de madeira, a floresta de onde se originou a madeira é substituída por uma floresta jovem, florestas de rápido crescimento que regeneram e sequestram carbono adicional. A madeira extraída e protegida do ciclo natural (do período natural da floresta) é contada como um crédito de carbono outorgado à floresta igual à quantidade de dióxido de carbono consumido durante o crescimento [9, 29, 35, 37, 60, 63].
- Sistema de Produção: Normalmente, os materiais de construção de madeira requerem menos energia para o seu fabrico e geram menos gases com efeito de estufa do que os materiais de construção alternativos utilizados em aplicações similares. O ciclo de vida dos produtos de madeira também gera um excedente de resíduos de madeira que se utilizam como combustível e como material de entrada de baixa energia incorporada noutros produtos [9, 29, 35, 37, 60, 63].
- Fim de vida: O pós-consumo dos produtos de madeira conservam muitas propriedades valiosas e podem ser utilizados como polpa e papel, ou queimados como combustível, como alternativa à matéria virgem ou como alternativa aos combustíveis fósseis, respetivamente. A maioria dos resíduos de madeira são enviados a desaguiadouros onde a maioria da madeira sólida continua a ser decomposta, devida à presença da lignina e condições imperfeitas de degradação. Esses resíduos são decompostos anaerobicamente e, com eles, é produzido metano e dióxido de carbono, portanto produz-se biogás. O biogás é cada vez mais procurado e utilizado como combustível [9, 29, 35, 37, 60, 63].

Os produtos de madeira consomem menos energia e são menos dependentes do que os combustíveis fósseis. Além disso, produzem menos GEE do que os materiais de construção alternativos durante o seu ciclo de vida. No entanto, um alto grau de variabilidade é observado, em função de como a madeira é tratada no final do seu ciclo de vida, e o potencial de emissões de metano que é produzido quando a madeira é levada aos desaguiadouros. O maior potencial para a prevenção de emissões de carbono relacionadas com a madeira foi encontrado em situações nas quais as florestas foram administradas de forma sustentável (onde o carbono neto foi neutral no tempo). Os produtos madeireiros podem substituir os materiais alternativos produzindo um alto conteúdo de energia. Além disso, os resíduos de madeira reciclados são utilizados para gerar energia e são substitutos dos combustíveis fósseis [29].

Durante, e depois, da vida útil do produto, quando os produtos se desconstroem e são levados para os desagudouros, as florestas de onde procederam os materiais madeireiros regeneraram e eliminaram mais carbono da atmosfera [29].

## **6.1. Análise do ciclo de vida dos materiais de construção**

Existem três etapas a considerar quando é estudado o impacto relativo do CO<sub>2</sub> produzido por diferentes materiais de construção: “Produção”, “Uso e Manutenção”, “Fim de uso”.

### **6.1.1. Produção (tendo em conta a produção da madeira na floresta)**

A energia usada na extração e produção dos materiais ou produtos é chamada “energia incorporada”. Geralmente, diz-se que a alta energia incorporada são altas emissões de CO<sub>2</sub> comparada com as altas emissões e a alta energia incorporada nos materiais alternativos como o aço, o concreto, o alumínio e o plástico. A madeira tem energia incorporada inferior e graças ao efeito de sumidouros das florestas, as emissões de CO<sub>2</sub> são negativas [64].

Isto pode ser afirmado baseando-se nas emissões que são apresentadas na Figura 6.1.

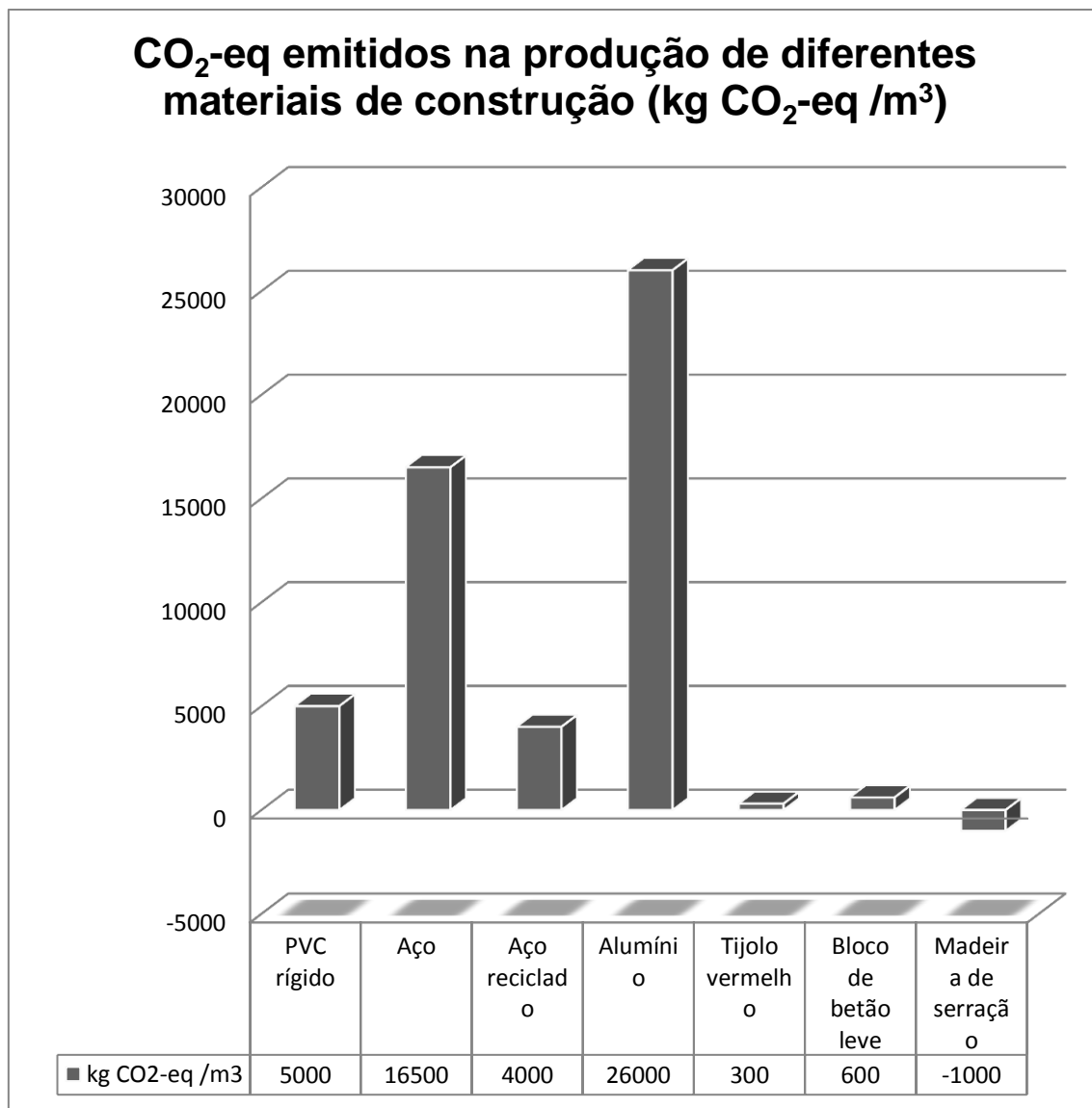


Figura 6.1 - CO<sub>2</sub>-eq emitido na produção de diferentes materiais de construção [64]

Tendo em contas os diferentes produtos indicados a seguir, as emissões correspondentes ao seu processo de produção, dependendo do material produzido, seriam as que são apresentadas na Figura 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7 (tendo em conta o efeito sumidouro).

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de fachadas, dependendo do tipo de fachada e do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.2.
  - Duas capas de betão com isolamento no interior.
  - Duas capas de tijolo com isolamento no interior.
  - Aço: Fachada de painel sandwich, chapa de aço, com alma isolante.
  - Madeira: Estrutura de madeira com isolamento.



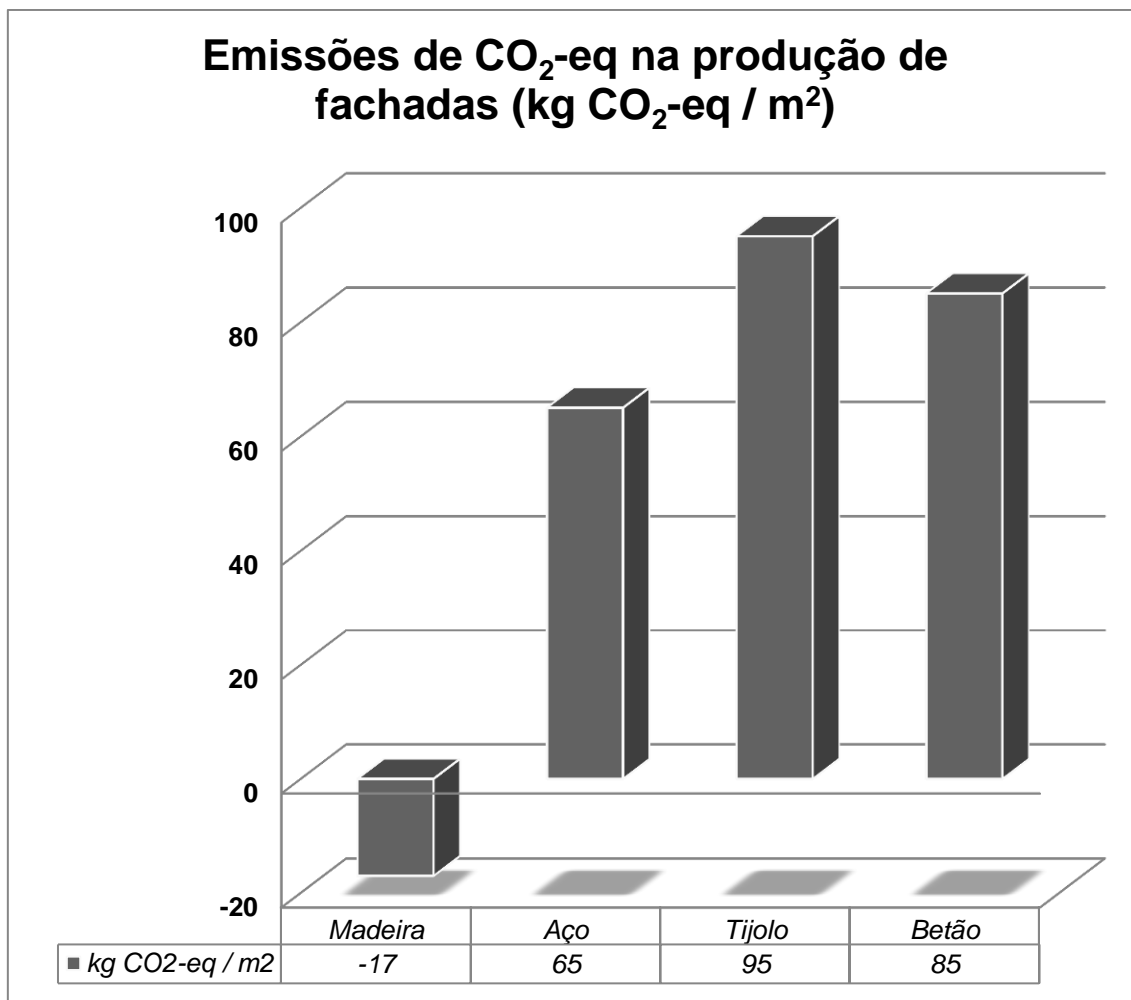


Figura 6.2 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de fachadas [63]

As emissões de CO<sub>2</sub>-eq dos materiais alternativos, são superiores aos da madeira, -17 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>, pode-se dizer, não só que a madeira mantém CO<sub>2</sub> na etapa da produção, além disso se fossem substituídos os três materiais pela madeira podemos reduzir os GEE: 82 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>, 112 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup> y 102 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>, tanto para aço, tijolo e betão, respectivamente.

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de partições, dependendo do tipo de partiçãodo material utilizado como materia prima na sua produção, pode ser observadas na Figura 6.3:
  - Uma lamina de tijolo.
  - Entramado auto portante de aço com painéis de yeso.
  - Entramado auto portante de madeira com painéis de yeso.

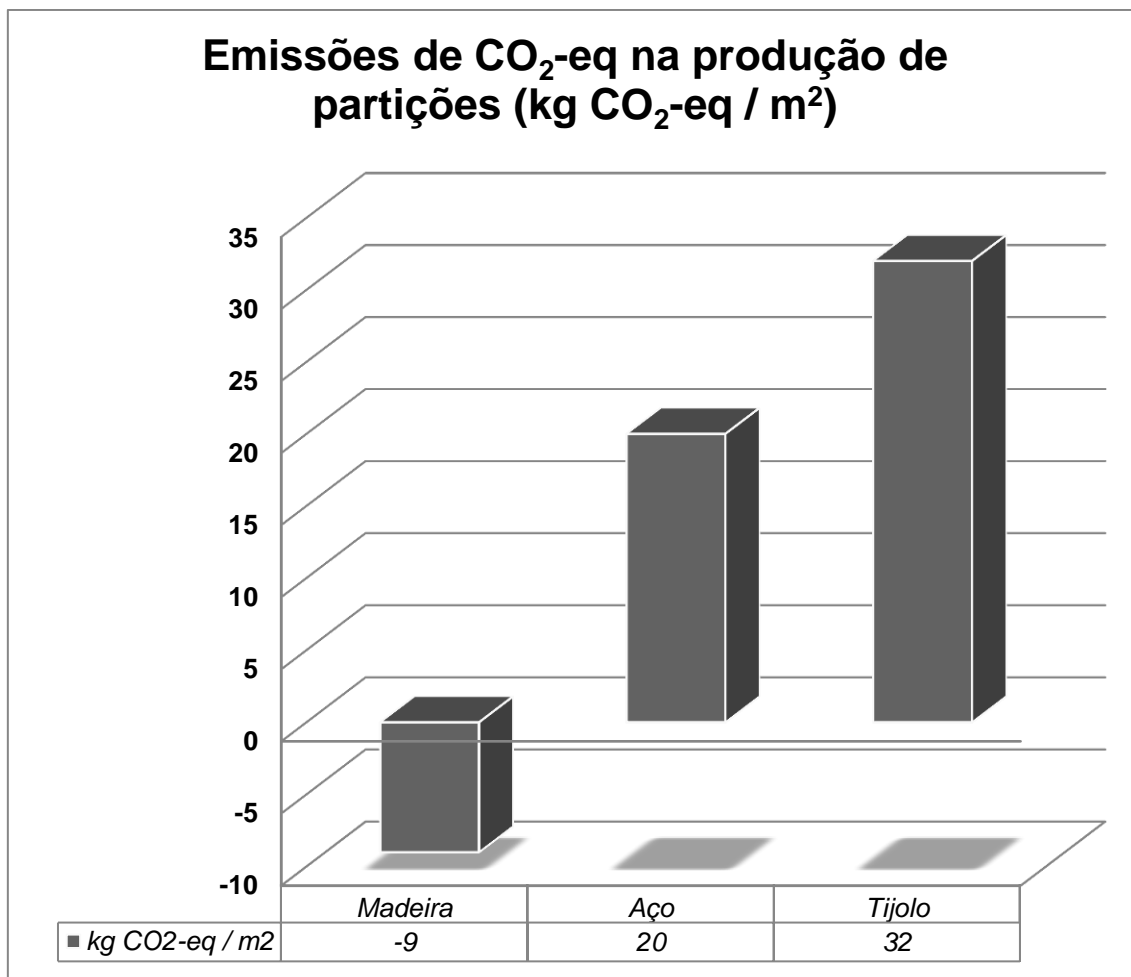


Figura 6.3 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de partições [63]

Para partições pode ser considerado que a utilização de madeira, em substituição do aço e do tijolo, gera uma poupança de 29 y 41 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>, respetivamente. Se for utilizada madeira diretamente, retira-se CO<sub>2</sub> da atmosfera num valor de -9 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>.

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de revestimentos interiores, dependendo do tipo de revestimento e do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.4:
  - Aço.
  - Betão.
  - Tijolo.
  - Madeira.

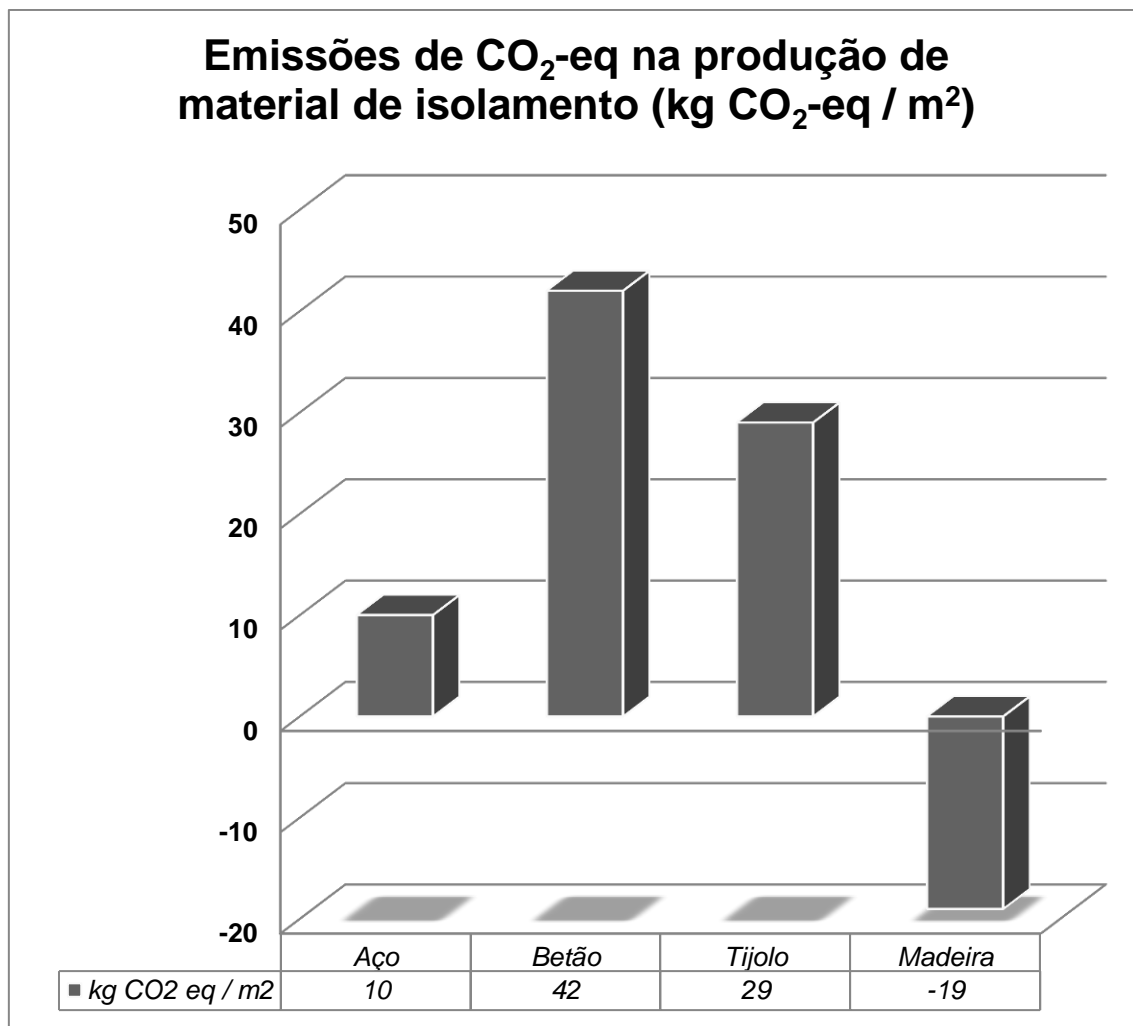


Figura 6.4 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de material de isolamento [63]

Se utilizarmos madeira como material de isolamento, geramos um crédito de CO<sub>2</sub>-eq de -19 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>, se for utilizada esta madeira como substituta de materiais alternativos como o aço, o betão e o tijolo, podemos poupar 29, 61, 48 kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>, respetivamente.

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de vigas, dependendo do tipo de viga e do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.5:
  - Alumínio.
  - Concreto.
  - Aço.
  - Madeira.

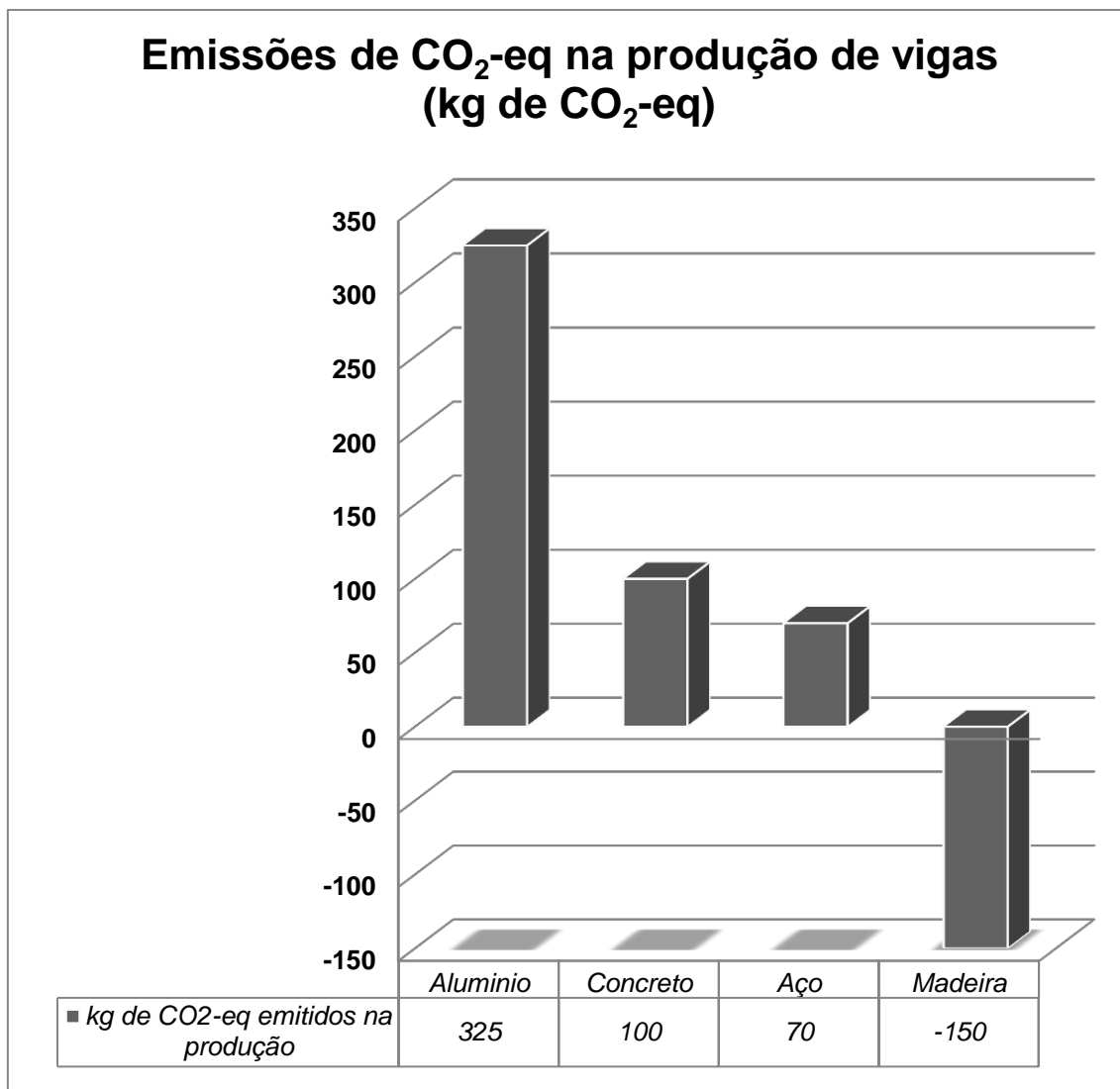


Figura 6.5 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de vigas [65]

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de janelas, dependendo do tipo de janela e do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.6:

- Madeira.
- PVC.
- Alumínio.

É utilizado o perfil de uma janela-modelo com um peso de 20 kg (unidade funcional) e as suas análogas por tamanho no alumínio e no policloreto de vinilo (PVC) e calculam-se 12 janelas como a descrita numa moradia-modelo. Na Figura 6.6, mostram-se as emissões produzidas pelo fabrico dos perfis nos diferentes materiais:

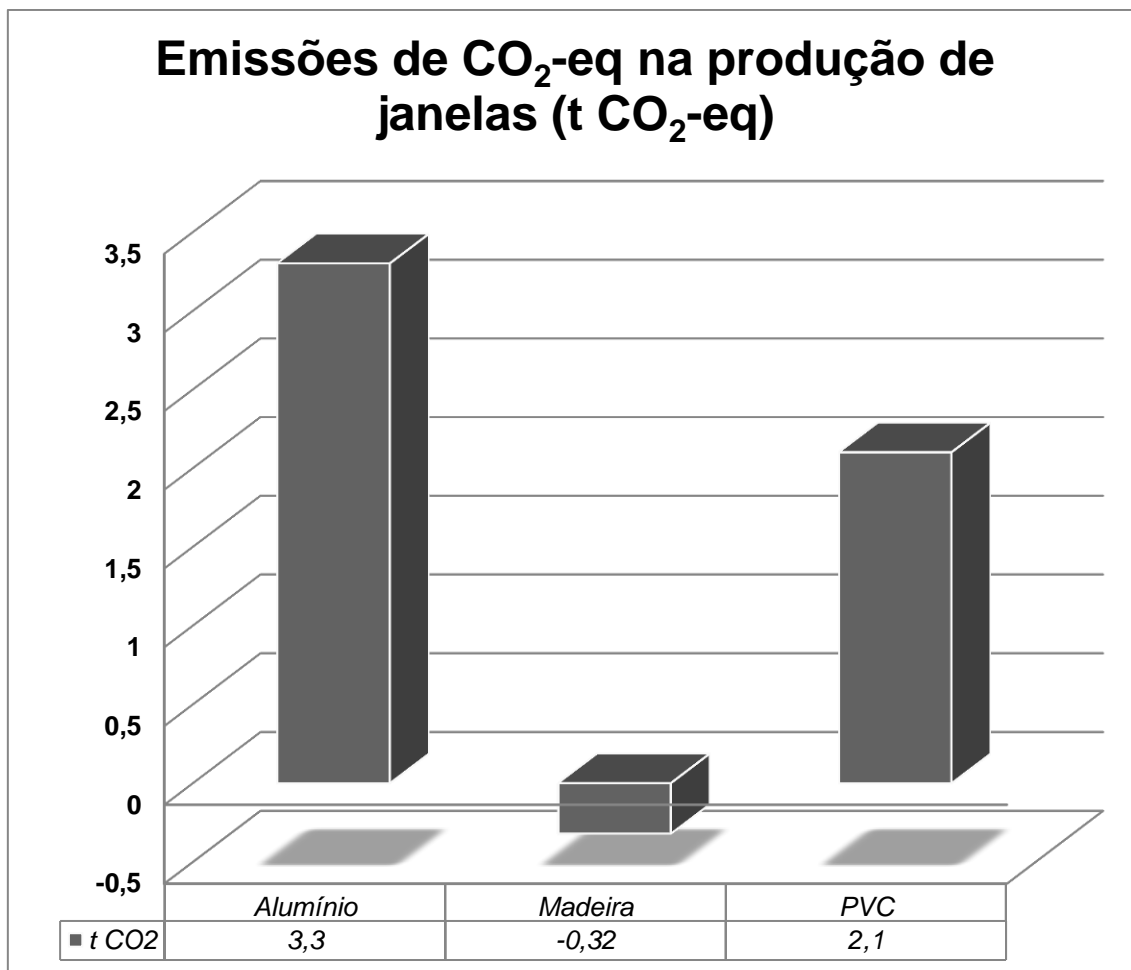


Figura 6.6 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de janelas [25]

Estes dados traduzem-se numa importante quantidade de CO<sub>2</sub>-eq absorvido graças à utilização de janelas de madeira em detrimento de outros materiais. Se para uma moradia-modelo o balanço de CO<sub>2</sub>-eq das janelas de madeira é de 0,32 t absorvido, supondo que se constroem anualmente à volta de 500.000 novas moradias em Portugal, a fixação total obtida seria de 160.000 t CO<sub>2</sub>-eq por ano. Se, além disso, calcularmos a diferença entre materiais, o benefício é ainda maior. Ou seja, deixar de construir todas as moradias de um ano com janelas de alumínio e fazê-lo com janelas de madeira, supõe uma poupança na emissão de CO<sub>2</sub>-eq de mais de 1800.000 t [25].

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de postes, dependendo do tipo de poste e do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.7:
  - Madeira.
  - Betão.

Foram calculadas as emissões produzidas pelo fabrico de postes telefónicos de 10 metros de altura (unidade funcional) em betão armado, vibrado e madeira. As diferenças de emissão por poste são as que apresentam na Figura 6.7:

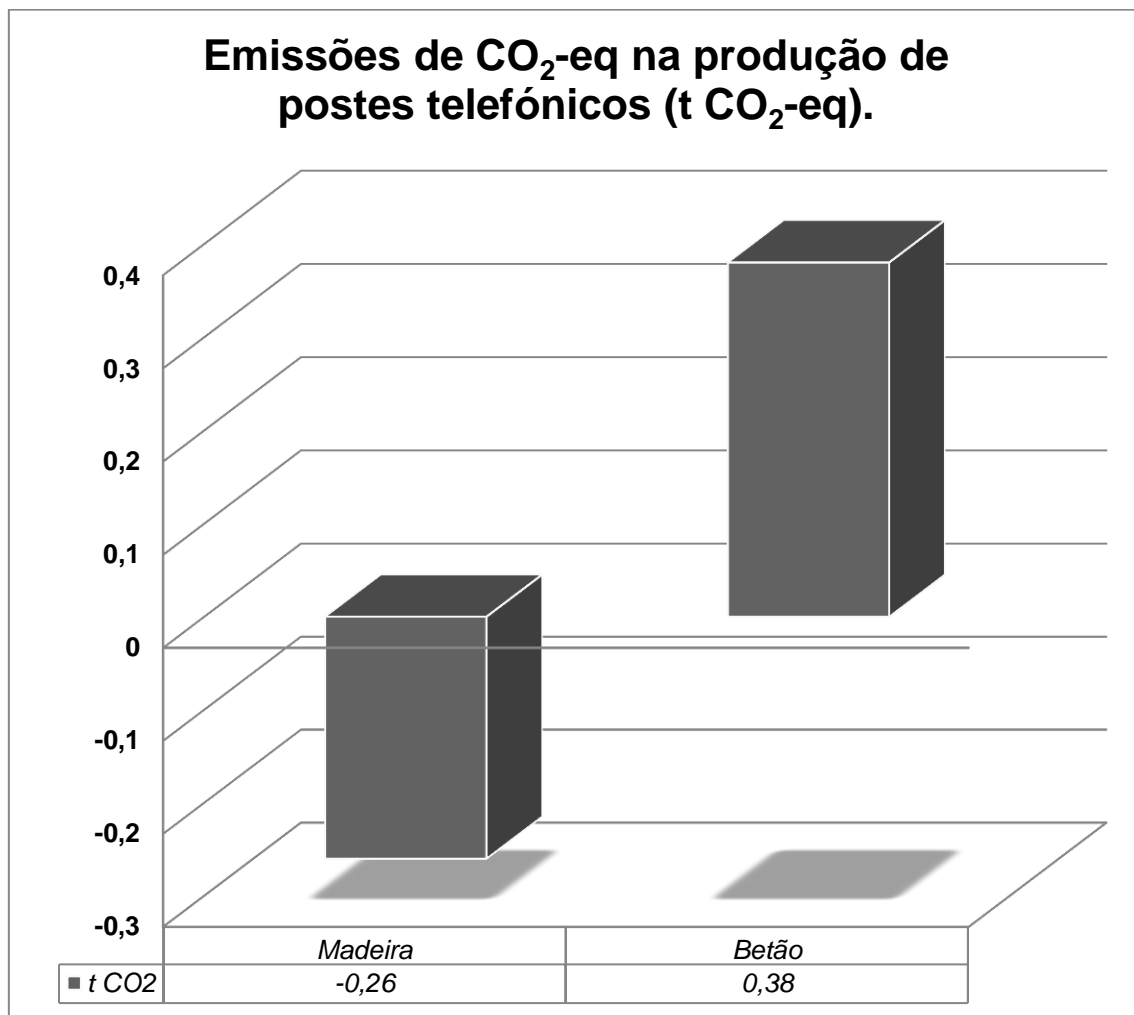


Figura 6.7 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq na produção de postes telefónicos [25]

Como se pode observar, o balanço de emissão-fixação é negativo para os postes de madeira, ou seja, o CO<sub>2</sub>-eq que fixa como produto de madeira é superior às emissões produzidas, enquanto que no betão, logicamente, só existem emissões. A diferença entre que os 10 milhões de postes de telefone estimados em Portugal sejam construídos com betão e que se construam com madeira, produz um rapto de mais de 6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq [25].

Incluindo quando materiais como o aço ou o alumínio são reciclados, o processo requer com frequência uma grande quantidade de energia. Em comparação, quando as indústrias de madeira precisam de energia, é utilizada a biomassa reciclada para a obtenção de eletricidade. Assim, contribuímos com a rede nacional [68].

### 6.1.2. Uso e manutenção

Dependendo do material utilizado, as emissões de GEE durante o uso e a manutenção do produto serão diferentes. Em seguida serão expostos alguns exemplos da quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>-eq que produzem diferentes produtos, dependendo do material com o qual são construídos:

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq no uso e na manutenção de caixilhos de janelas, dependendo do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.7:

- Madeira.
- PVC.
- Alumínio.

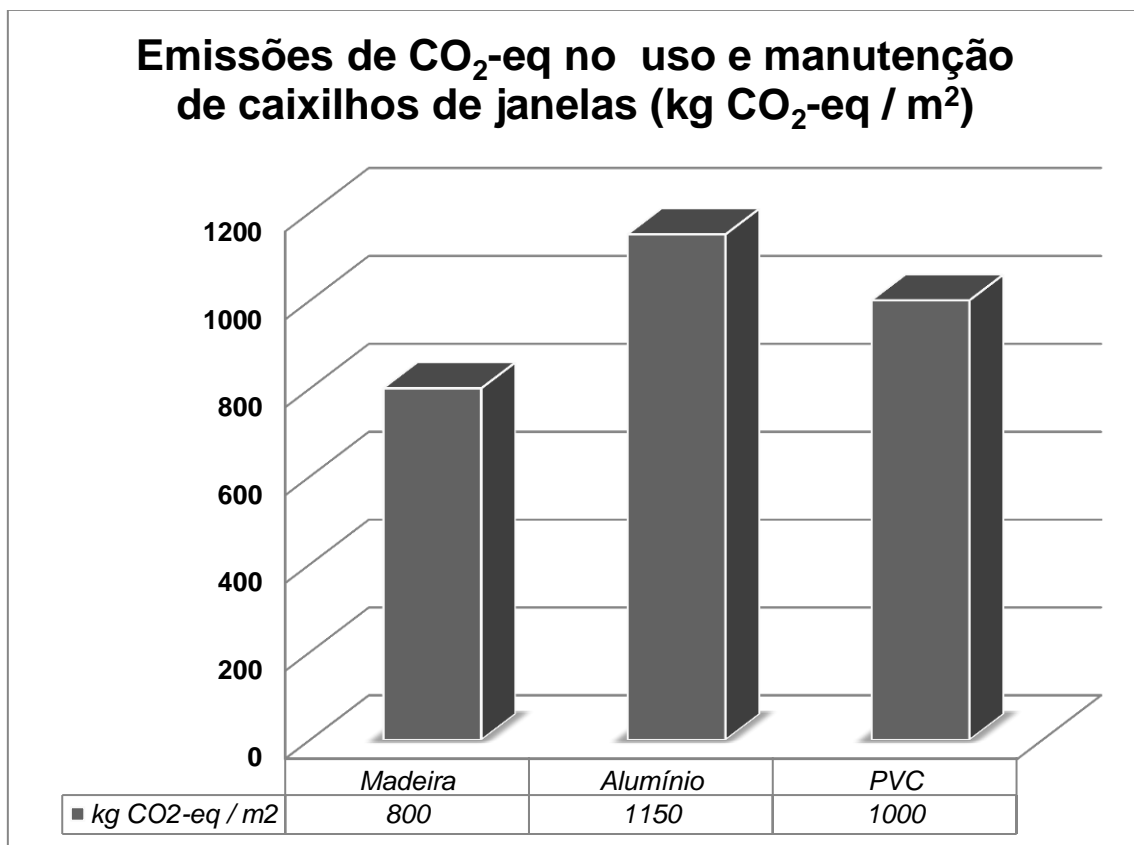


Figura 6.8 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq no uso e manutenção de caixilhos de janelas. [69]

Como pode ser observado na Figura 6.8, as emissões menores de CO<sub>2</sub>-eq são produzidas pela madeira. Há emissões pela perda de calor no uso do habitáculo, onde se situa a janela. Não obstante, as perdas são menores nos três materiais utilizados.

As janelas com vidro triplo podem ser mais fáceis de produzir a partir de madeira do que de outros materiais. Estas janelas outorgam uma quantidade de ausência de ruídos superior à que pode outorgar uma janela feita de materiais alternativos [70].

- As emissões de CO<sub>2</sub>-eq no uso e na manutenção de pavimentos, dependendo do material utilizado como matéria-prima na sua produção, podem ser observadas na Figura 6.8:

- Madeira.
- Vinilo.
- Linóleo.

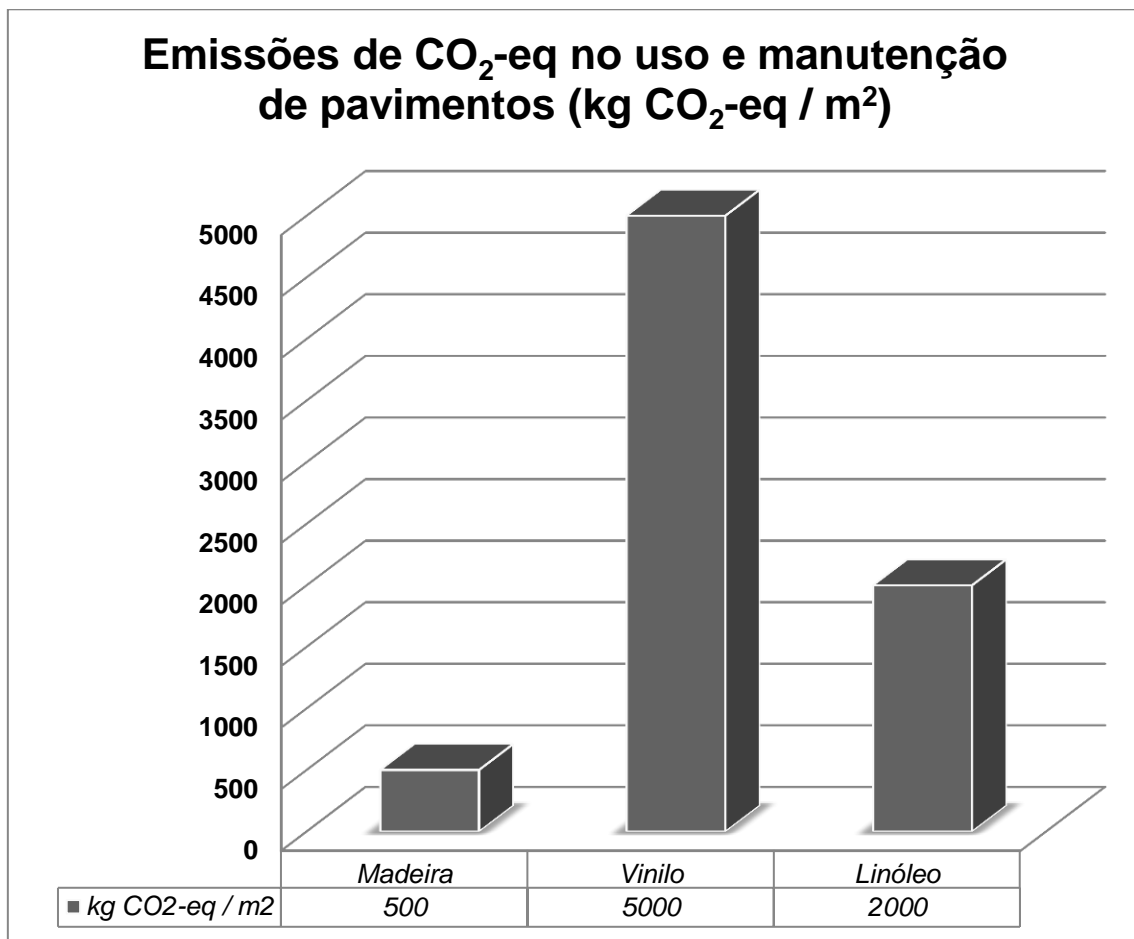


Figura 6.9 - Emissões de CO<sub>2</sub>-eq no uso e manutenção de pavimentos [69]

No que diz respeito às emissões de GEE geradas em pavimentos, podemos apreciar como, na construção com madeira, as emissões de CO<sub>2</sub>-eq produzidas são um 10% e um 25% do total das produzidas em vinilo e linóleo, respetivamente.

Os produtos fabricados com madeira podem ser mais efetivos energeticamente na construção do que produtos fabricados a partir de cimento, tijolos ou outros materiais alternativos. Os pavimentos de madeira podem melhorar o isolamento térmico [70].



### 6.1.3. Fim de vida

A madeira, e os produtos baseados nela, têm propriedades únicas no final do seu ciclo. Além disso, também tem material reciclado como as lascas, as farpas e os restos para fazer painéis de aglomerado. Uma grande variedade de produtos são fabricados a partir de madeira reciclada. No entanto, além disto, a madeira é utilizada, cada vez mais, como um substituto dos combustíveis fósseis, que proporciona uma fonte de energia renovável que simplesmente devolve à atmosfera o CO<sub>2</sub> que se eliminou no princípio [5].

Em seguida, serão dispostos dados sobre o final de vida dos produtos e o balanço em CO<sub>2</sub>-eq emitidos ao longo do seu ciclo de vida. Mas, em primeiro lugar, vamos mostrar como os materiais produzidos a partir de madeira têm um melhor balanço de GEE do que outros materiais substitutivos. Neste apartado, serão comparados tanto matérias de “madeira e metálicos” como “madeira e minerais”.

A Figura 6.10 mostra uma comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e metálicos.

### Comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de "madeira y metálicos" (t CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup> produto)

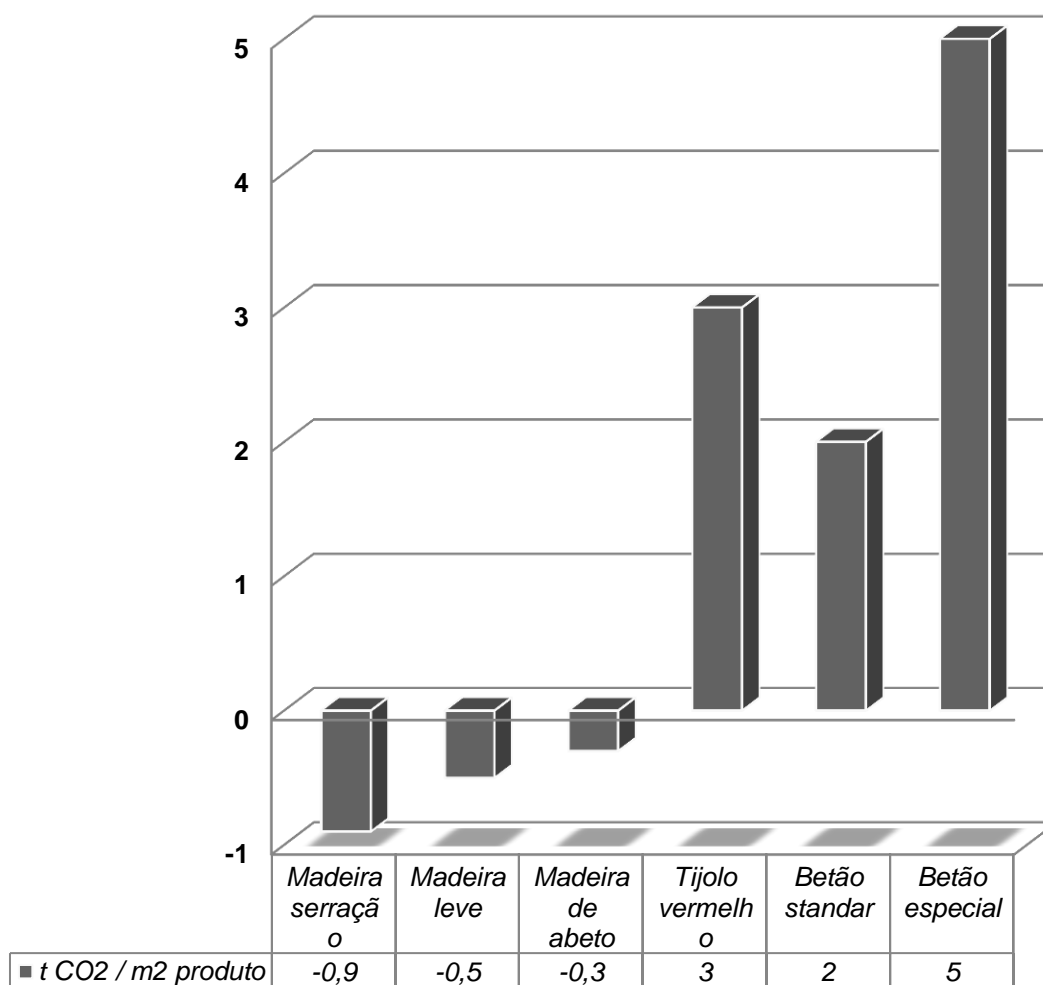


Figura 6.10 - Comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e metálicos [64]

A Figura 6.11 mostra uma comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e minerais.

### Comparação de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e minerais (t CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup> produto).

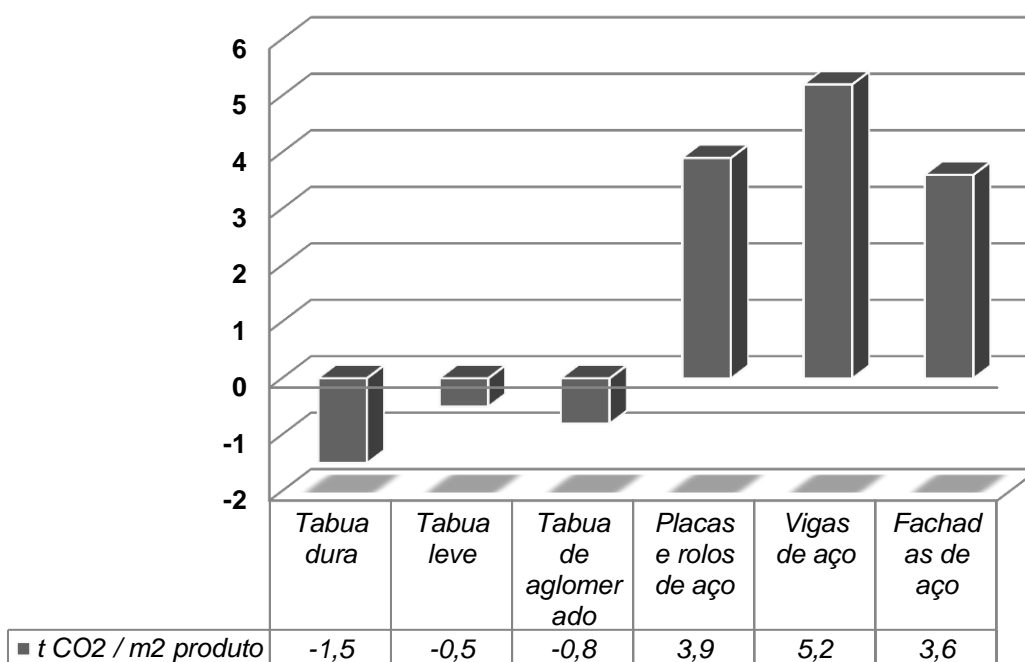


Figura 6.11 - Comparações de emissões de GEE no ciclo de vida de materiais de madeira e minerais [64]

Pode ser observado, na Figura 6.10 e na Figura 6.11 que qualquer material proveniente da madeira, vai gerar um impacto positivo no balanço de GEE no seu ciclo de vida. Armazenará CO<sub>2</sub> contra as excessivas emissões de GEE que produzem os materiais alternativos.

Seguindo um estudo do País Vasco (Espanha) [3], na Tabela 6.1 é mostrada uma comparação sobre redução de energia primária e emissões de GEE entre madeira e materiais alternativos. Pode ser observada a poupança no balanço energético e no balanço de CO<sub>2</sub>-eq da madeira em comparação com outros produtos de construção. As percentagens negativas, mostradas na Tabela 6.1, significam a redução tanto em energia primária total como a redução em emissões de GEE favoráveis à utilização da madeira como matéria-prima.

Tabela 6.1 - Comparação em redução de energia primária e emissões de GEE, entre madeira e materiais alternativos [3]

	Energia primária total	Emissões GEE
<b>MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</b>		
<b>Madeira vs Betão</b>	-33 %	-79 %
<b>Madeira vs PVC</b>	-44 %	-45 %
<b>Madeira vs Alumínio</b>	-50 %	-47 %
<b>Madeira local vs Madeira exótica</b>	-22 %	-25 %
<b>INDUSTRIA DE MOBILIÁRIO</b>		
<b>Aglomerado vs Vidro</b>	-62 %	-60 %
<b>Prateleira madeira vs Aço galvanizado</b>	-6 %	-37 %

Seguidamente, serão definidos diferentes produtos, considerados em diferentes estudos, comparando os GEE produzidos ao longo do ciclo de vida de cada produto.

Os sinais utilizados e os seus significados são os seguintes:

**Avaliação; ++: muito positivo (< 50% do impacto medio); +: positivo (de 50% a 90% do impacto medio); 0: media (de 90% a 110% do impacto medio); -: negativo (de 110% a 150% do impacto medio); --: muito negativo (> 150% do impacto medio).** Abreviações; Não. RES: Energias não renováveis; RES.: energias renováveis; CED: demanda de energia acumulada; GWP: Global warning potential (100 anos).

- **Janelas.**

- Unidade funcional: Janelas do mesmo tamanho (1.650 x 1.300 mm de circunferencia) para casas residenciais.
- Considera-se o caixilho e o vidro.

Na Tabela 6.2 mostra-se a comparação de consumo de energia e de GWP de janelas de madeira com materiais alternativos

Tabela 6.2 - Comparação de consumo de energia e GWP de janelas de madeira com materiais alternativos [71]

Materiais	Energia		Eco-indicador 95	
	Não. RES	RES	CED	GWP
	<b>Janelas</b>			
<b>Madeira</b>			+	+
<b>Alumínio</b>			0	0
<b>Aço</b>			-	0
<b>Aço inoxidável</b>			-	-
<b>Aço não ferroso</b>			-	--
<b>PVC</b>			+	+

- **Material de isolamento.**

- Delimitado de “Cradle to gate”.
- A unidade funcional é: quantidade de material por m<sup>2</sup> para suportar uma resistência termica de R= 1.0 W/ (m<sup>2</sup>K).

Na Tabela 6.3 mostra-se a comparação de consumo de energia e de GWP de material de isolamento de madeira com materiais alternativos.

Tabela 6.3 - Comparação de consumo de energia e de GWP de material de isolamento de madeira com materiais alternativos [71]

Materiais	Energia			Eco-indicador 95
	Não. RES	RES	CED	GWP
<b>Material de isolamento</b>				
<b>Tabuleiros de fibra de madeira</b>	++	--		++
<b>Lã de vidro</b>	-	+		--
<b>Fibras de celulosa</b>	++	++		++
<b>Perlita</b>	++	++		+
<b>EPS</b>	--	++		--
<b>Foamglass</b>	--	+		--
<b>Lã mineral</b>	+	++		0
<b>Vermiculita</b>	++	++		++

- **Materiais para pavimentos.**

- Unidade funcional: 1 m<sup>2</sup>.
- Delimitado “Cradle to gate”.

Na Tabela 6.4 mostra-se a comparação de consumo de energia e de GWP de pavimentos de madeira com materiais alternativos.

Tabela 6.4 - Comparação de consumo de energia e de GWP de pavimentos de madeira com materiais alternativos [72]

Materiais	Energia			Eco-indicador 95
	Não. RES	RES	CED	GWP
<b>Pavimentos de madeira</b>				
<b>Parquet</b>	++			++
<b>Linóleo</b>	-			+
<b>PVC</b>	-			--

- **Paredes.**

- Unidade funcional de 1m<sup>2</sup>.

Na Tabela 6.5 mostra-se a comparação de consumo de energia e de GWP de paredes de madeira com materiais alternativos.

Tabela 6.5 - Comparação de consumo de energia e de GWP de paredes de madeira com materiais alternativos [73]

Materiais	Energia			Eco-indicador 95
	Não. RES	RES	CED	GWP
<b>Paredes</b>				
<b>Estrutura de madeira</b>				++
<b>Tabuleiros de madeira compensada</b>				++
<b>Tijolos (2 camadas)</b>				--
<b>Tijolos de betão poroso</b>				-

- **Caixilhos das portas.**

- O ciclo de vida total é considerado, incluindo a manutenção e a reciclagem.
- Unidade funcional: uso interior com uma abertura de 80 cm x 200 cm e para paredes com uma largura até 16 cm.
- 60 anos de vida.

Na Tabela 6.6 mostra-se a comparação de consumo de energia e de GWP de caixilhos de portas de madeira com materiais alternativos.

Tabela 6.6 - Comparação de consumo de energia e de GWP de caixilhos de portas de madeira com materiais alternativos [74]

Materiais	Energia.		Eco-indicador 95	
	Não. RES	RES	CED	GWP
	<b>Caixilhos de portas</b>			
<b>Tabuleiro de partículas</b>	+	--	0	0
<b>Madeira sólida</b>	+	-	+	+
<b>Aço galvanizado</b>	-	+	-	-

- **Travessas para vias férreas.**

- Unidade funcional: Uma travessa incluídas as fixações como a via de 60 cm de largura.
- 30 anos de vida, incluída a manutenção e remoção dos componentes.

Na Tabela 6.7 mostra-se a comparação de consumo de energia e de GWP de travessas para vias férreas de madeira com materiais alternativos.

Tabela 6.7 - Comparação de consumo de energia e de GWP de travessas para vias férreas de madeira com materiais alternativos [75]

Materiais	Energia		Eco-indicador 95	
	Não. RES	RES	CED	GWP
	<b>Travessas para vias férreas</b>			
<b>Madeira de Faia</b>			-	0
<b>Aço</b>			+	0
<b>Concreto</b>			+	0

- **Postes de eletricidade.**

- Unidade funcional: 10 metros.
- Tempo de vida: 60 anos, é estudado todo o seu ciclo de vida, incluída a manutenção, o transporte e o fim de uso.
- O 90 % dos postes de madeira são reciclados para ser utilizados para energia, os postes de betão também são reciclados.

Na Tabela 6.8 mostra-se a comparação de consumo de energia e GWP de postes de eletricidade de madeira com materiais alternativos.

Tabela 6.8 - Comparação de consumo de energia e de GWP de postes de eletricidade de madeira com materiais alternativos [76]

Materiais	Energia			Eco-indicador 95
	Não. RES	RES	CED	GWP
	<i>Postes de eletricidade</i>			
<b>Troncos</b>	++	--	+	++
<b>Concreto</b>	+	++	+	+
<b>Aço tubular</b>	--	++	--	--

Como pode ser apreciado nas Tabelas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8, associadas aos diferentes produtos, comparar as emissões de GEE de cada produto converte-se numa tarefa complicada, pela grande variedade de unidades funcionais de cada produto. Mas, fazendo a comparação dos produtos fabricados em madeira com os produtos fabricados com materiais alternativos, podemos chegar à conclusão de que a madeira é a melhor opção em construção referente à redução dos GEE. Em todos os casos estudados, a madeira mostrou sempre um valor muito positivo ou positivo na redução dos GEE.

Quanto à energia necessária para a produção dos diferentes produtos, também podemos concluir que, utilizando como matéria-prima a madeira, a necessidade de energia é inferior à utilizada para o fabrico dos produtos a partir de materiais alternativos.

## 6.2 Comparação das emissões de GEE na utilização da madeira em diferentes aplicações da construção

Como material construtivo, a madeira não tem rival no armazenamento de CO<sub>2</sub>. Nas diferentes fases do ACV dos produtos, observou-se que a madeira gera sempre um balanço negativo de CO<sub>2</sub> no que diz respeito aos seus rivais como materiais de construção.

Entre os materiais de construção em madeira, os melhores para a redução de GEE são as tábuas duras de madeira. Isto é devido à utilização da madeira dura, a qual contém um maior nível de carbono no seu interior. A madeira que tenha uma maior densidade (maior compactação entre fibras) terá uma maior quantidade de C no seu interior.

Como material alternativo com maiores emissões de CO<sub>2</sub>-eq, encontramos o betão devido, não só às emissões na sua produção, mas também, à calcinação do betão. Portanto, pode ser indicado que a utilização da madeira, como substituto do betão (como material de máxima emissão de CO<sub>2</sub>-eq), é um dos melhores usos que podemos fazer da madeira.





## 7. MADEIRA PARA PELETES VS MADEIRA PARA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Como exemplo, vão ser tomadas diferentes emissões ao longo do ciclo de vida de diferentes processos de peletes, tanto industriais como residenciais, e diferentes materiais de construção a partir da madeira. Estes dados são mostrados nas Figuras 7.1 e 7.2.

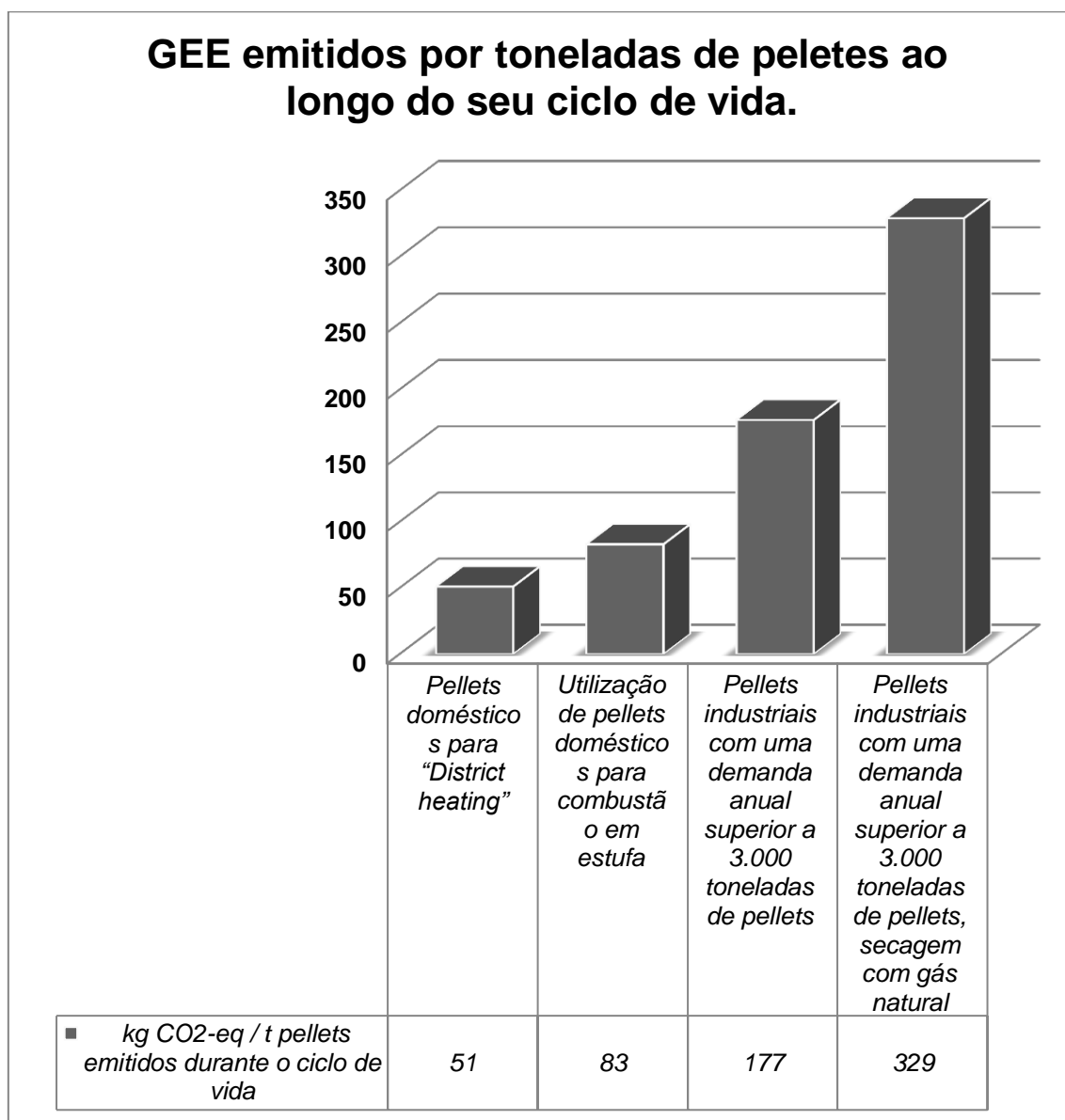


Figura 7.1 - GEE emitidos por toneladas de peletes ao longo de seu ciclo de vida

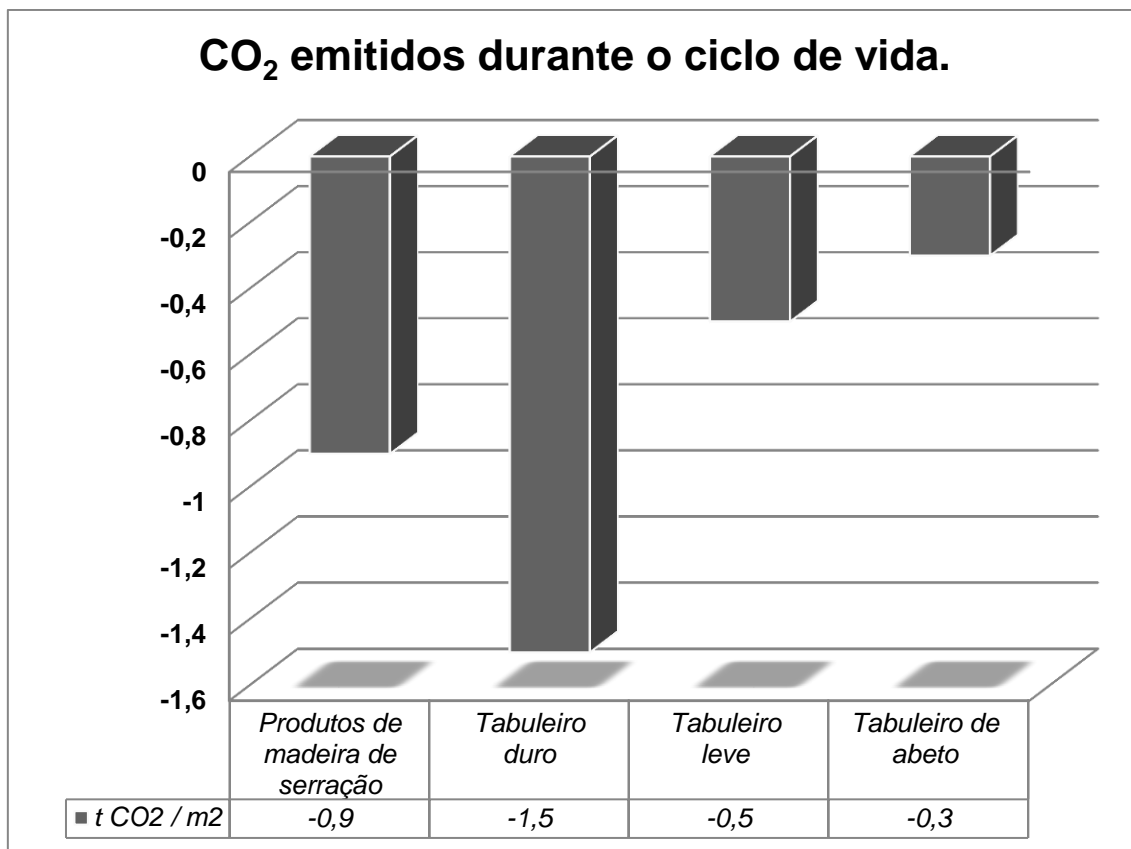


Figura 7.2 - GEE emitidos por materiais de construção ao longo de seu ciclo de vida

Como podemos apreciar, as unidades funcionais dos dois tipos de biomaterial são difíceis de comparar. A comparação será baseada no fato das emissões serem positivas ou negativas.

Como podemos apreciar na Figura 7.1, as emissões de GEE nos peletes têm valores positivos. Isto é devido a que os peletes, embora de acordo com a Diretiva da UE sobre RES (2009/28/EC), não emitem GEE para a atmosfera na sua etapa de conversão. Estes emitem GEE, nas etapas anteriores, em quantidades que podem diferir altamente entre os diferentes ciclos de vida dos peletes. Os peletes são produzidos para serem utilizados de imediato, pelo que as suas emissões não podem ser subsanadas no momento da emissão. Portanto, a utilização da mitigação que realizaria a floresta, não se pode ter em conta na produção de peletes. O único que se pode ter em conta seria a utilização da madeira como peletes num “looping” fechado através da conversão de madeira reciclada, para a obtenção de energia, como veremos mais à frente.

Na presente tese, pode-se observar na Figura 7.2 que os balanços de GEE de materiais de construção são melhores do que os balanços dos peletes. Isto é devido a que o CO<sub>2</sub>, quando se produz um material de construção, é armazenado neste material durante o seu ciclo de vida. O material teria um funcionamento similar a uma floresta madura, onde a captação de CO<sub>2</sub> é muito reduzida. Mantendo o CO<sub>2</sub> armazenado no produto, deixamos que a nova floresta cresça com uma alta taxa de crescimento. Se o produto tiver a mesma vida útil do que a floresta de

onde se obteve a madeira, teremos uma assimilação perfeita de CO<sub>2</sub>, como veremos mais à frente.

Como se pôde apreciar na tese, na Figura 6.11 e na Figura 7.2, o maior armazenamento de carbono sucede nos materiais que utilizam a madeira mais densa. Este é o caso das tábuas duras que, como podemos apreciar na Figura 7.2, gera um balanço menor em emissões de GEE no mesmo ciclo de vida que outros produtos madeireiros e outros materiais alternativos.



## 8. CASCATA DE MATERIAIS DE MADEIRA

Uma forma simples de conexão em cascata é queimar um produto combustível no final da sua vida útil e recuperar a energia térmica. As correias de cascata têm duas metas: o uso do material e a recuperação energética.

Os dados necessários para trabalhar com a cascata de materiais de madeira são os expostos a seguir [77]:

- Unidade funcional: 1.000 kg de madeira reciclada ou madeira virgem (madeira seca).
- Inclui-se a área florestal suficiente para produzir a quantidade de madeira reciclada.
- Assume-se que a madeira reciclada é obtida no ano -100 (ou seja, há 100 anos) de uma floresta e gerida de maneira sustentável, que voltou a crescer por completo no ano 0.

Na figura 8.1 é mostrada a linha temporal que tem a cascata de materiais de madeira.

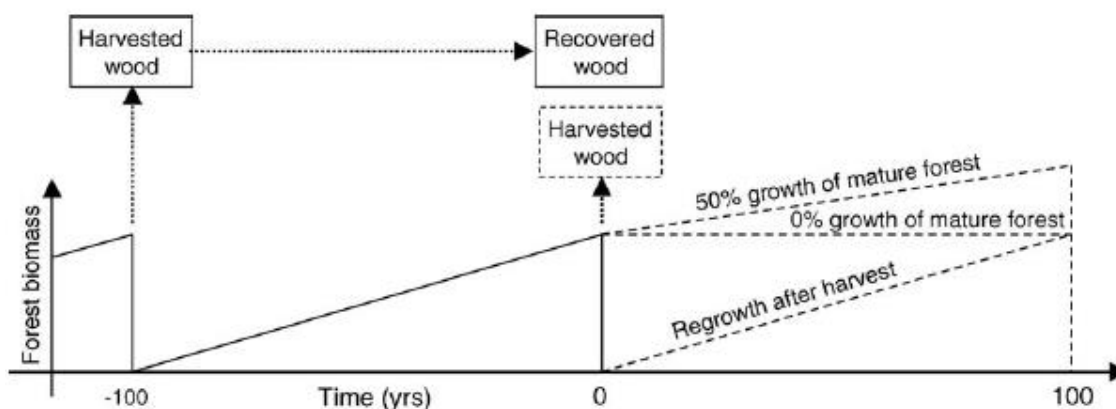


Figura 8.1 - Linha temporal da cascata de materiais de madeira [77]

- É assumido que se a floresta for talhada no ano 0, volta a crescer no ano 100. Se não for talhada no ano 0, assumimos que a floresta ou bem mantém a biomassa constante ou continua a crescer à metade da taxa de crescimento inicial.
- Supõe-se que toda a madeira é madeira adequada para reutilização.

Expõem-se, a seguir, diferentes casos de cascata.

### 8.1. Tábuas de madeira, mediante madeira reciclada ou madeira talhada

É considerada uma tábua de madeira com uma vida útil de 100 anos, utilizando madeira reciclada (A) ou madeira virgem (B) como matéria-prima para a sua produção. Quando é utilizada madeira reciclada para a formação de tábuas, assume-se que a floresta vai permanecer intacta e esta terá duas opções de crescimento a 0% (caso A1) e a 50% (caso A2),

ao longo do seu ciclo de vida de 100 anos. Quando a floresta é talhada para produzir as tábuas de madeira (caso B), a madeira reciclada é queimada como substituto do carvão [77].

Na Figura 8.2 apresentam-se, os 3 casos anteriormente mencionados, caso A1, caso A2 e caso B.

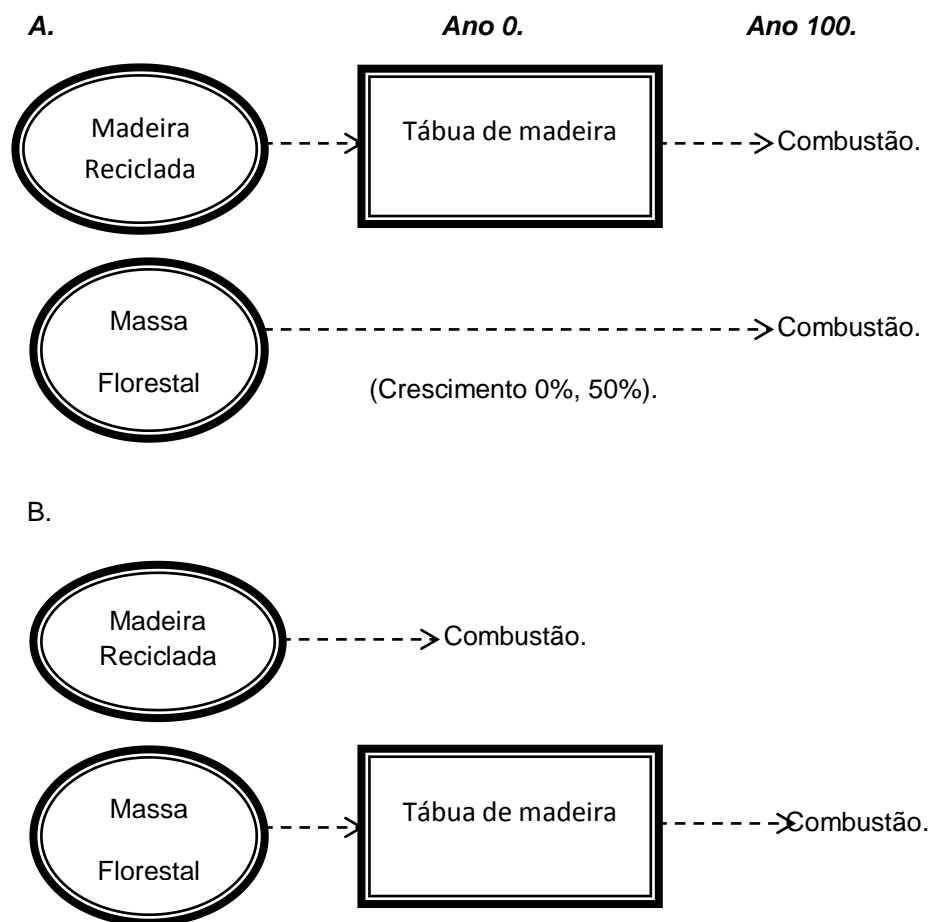


Figura 8.2 - Esquema representativo, caso A1, caso A2 e caso B

Na Tabela 8.1 são representados os balanços de carbono (kg CO<sub>2</sub>-eq), dos casos A1, A2, B. Como unidade funcional são utilizados 1.000 kg de madeira. Os valores positivos de CO<sub>2</sub>-eq indicam emissões para a atmosfera, os valores negativos indicam as emissões evitadas de CO<sub>2</sub>-eq e, portanto, armazenadas.

Tabela - 8.1 Balanço de CO<sub>2</sub>-eq, casos A1, A2 e B [77]

Balanço de CO <sub>2</sub> -eq, casos A1, A2 e B					
Cenários	Emissões CO <sub>2</sub> fóssil	CO <sub>2</sub> fóssil, deslocado pelo biocombustível (a)	Alteração do CO <sub>2</sub> na floresta	CO <sub>2</sub> armazenado na tábua (b)	Total
<b>A1</b>	111	-437	0	425	100
<b>A2</b>	111	-437	-405	425	-305
<b>B</b>	130	-999	0	425	-444

(a) Assume-se que o biocombustível substitui o carvão.

- (b) Alteração nas existências de CO<sub>2</sub> na floresta e nos produtos desde o princípio até ao final do ciclo de vida.

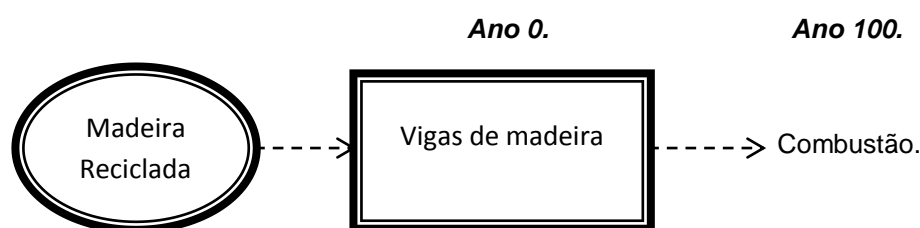
O balanço de CO<sub>2</sub>-eq é menor quando é utilizada a matéria-prima procedente da talhagem da massa florestal e não se mantém na floresta. O balanço mais favorável contra os GEE ocorre quando são talhadas as árvores, para a criação da tábua e, ao mesmo tempo, se utiliza o material reciclado como biocombustível. A taxa de crescimento, quando se mantém a massa florestal em pé faz uma diferença significativa no balanço de CO<sub>2</sub>. Os balanços de carbono são negativos (armazena-se CO<sub>2</sub>) para todas as opções, exceto quando a floresta se mantém de pé e não aumenta em biomassa.

## 8.2 Vigas de madeira para construção. Com limitação na obtenção de madeira

É analisado o balanço de CO<sub>2</sub>-eq de materiais de substituição para a construção de edifícios como podem ser vigas, telhados, pavimentos, etc. Utilizam-se dois tipos de materiais para a construção: madeira reciclada (C) e betão armado (D). Assume-se que a floresta é um recurso limitado, portanto o edifício deve ser construído com madeira reciclada ou com materiais não madeireiros. Quando são utilizados materiais não madeireiros para a construção, assume-se que a madeira reciclada é utilizada como biocombustível, para substituir o carvão [77].

Na Figura 8.3 apresentam-se os dois casos mencionados anteriormente, caso C e caso D.

C.



D.

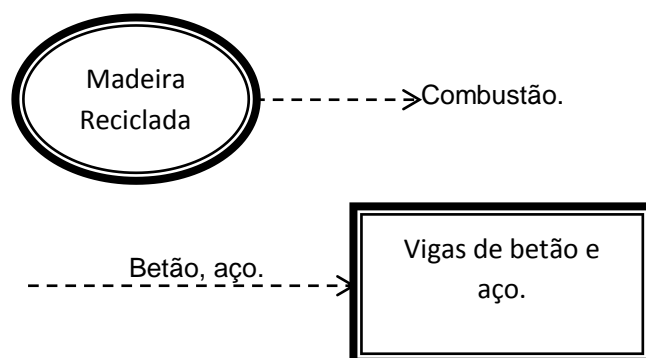


Figura 8.3 - Esquema representativo, caso C e caso D

Na Tabela 8.2 estão representados os balanço de carbono (kg CO<sub>2</sub>-eq) dos casos C e D. Como unidade funcional são utilizados 1.000 kg de madeira. Os valores positivos de CO<sub>2</sub>-eq indicam emissões para a atmosfera, os valores negativos indicam as emissões evitadas de CO<sub>2</sub>-eq e, portanto, armazenadas.

É necessário igualar a unidade funcional da madeira, seja reciclada ou virgem, com outro material não madeireiro. Por isso, 1 kg de madeira pode substituir 3,6 kg de betão, tijolo ou azulejos, e 0,12 kg de metais.

Tabela 8.2 - Balanço de CO<sub>2</sub>-eq, casos C e D [77]

Balance de CO <sub>2</sub> -eq, casos C e D					
Cenários	Emissões CO <sub>2</sub> fóssil	CO <sub>2</sub> fóssil, deslocado pelo biocombustível (a)	Alteração de CO <sub>2</sub> na floresta	CO <sub>2</sub> armazenado no tabuleiro (b)	Total
<b>C</b>	14	-474	0	425	-35
<b>D</b>	166 (c)	-474	0	425	118

- (a) Assume-se que o biocombustível substitui o carvão.
- (b) Alteração nas existências de CO<sub>2</sub> na floresta e nos produtos desde o princípio até ao final do ciclo de vida.
- (c) Inclui 56 kg de CO<sub>2</sub> não fóssil a partir de reações de calcinação do cimento.

O balanço de CO<sub>2</sub>-eq é substancialmente maior quando é usado o betão armado. O balanço de CO<sub>2</sub>-eq é negativo quando é utilizada a madeira reciclada, e é positivo quando é utilizado o material não madeireiro. Esta diferença deve-se ao maior uso de combustíveis fósseis para o fabrico dos materiais não madeireiros, e às emissões de CO<sub>2</sub>-eq durante a produção de cimento.

### 8.3 Vigas de madeira para construção. Sem limitação na obtenção da madeira

O sistema é analisado desde uma perspectiva de 100 anos de ciclo de vida coincidindo com a vida útil das vigas de madeira e o período de rotação da floresta. É comparado o balanço de CO<sub>2</sub> das vigas construídas com madeira reciclada (E), de madeira virgem talhada da floresta (F), e de betão e aço (G).

Na Figura 8.4 apresentam-se os 3 caso mencionados anteriormente, caso E, caso F e caso G.



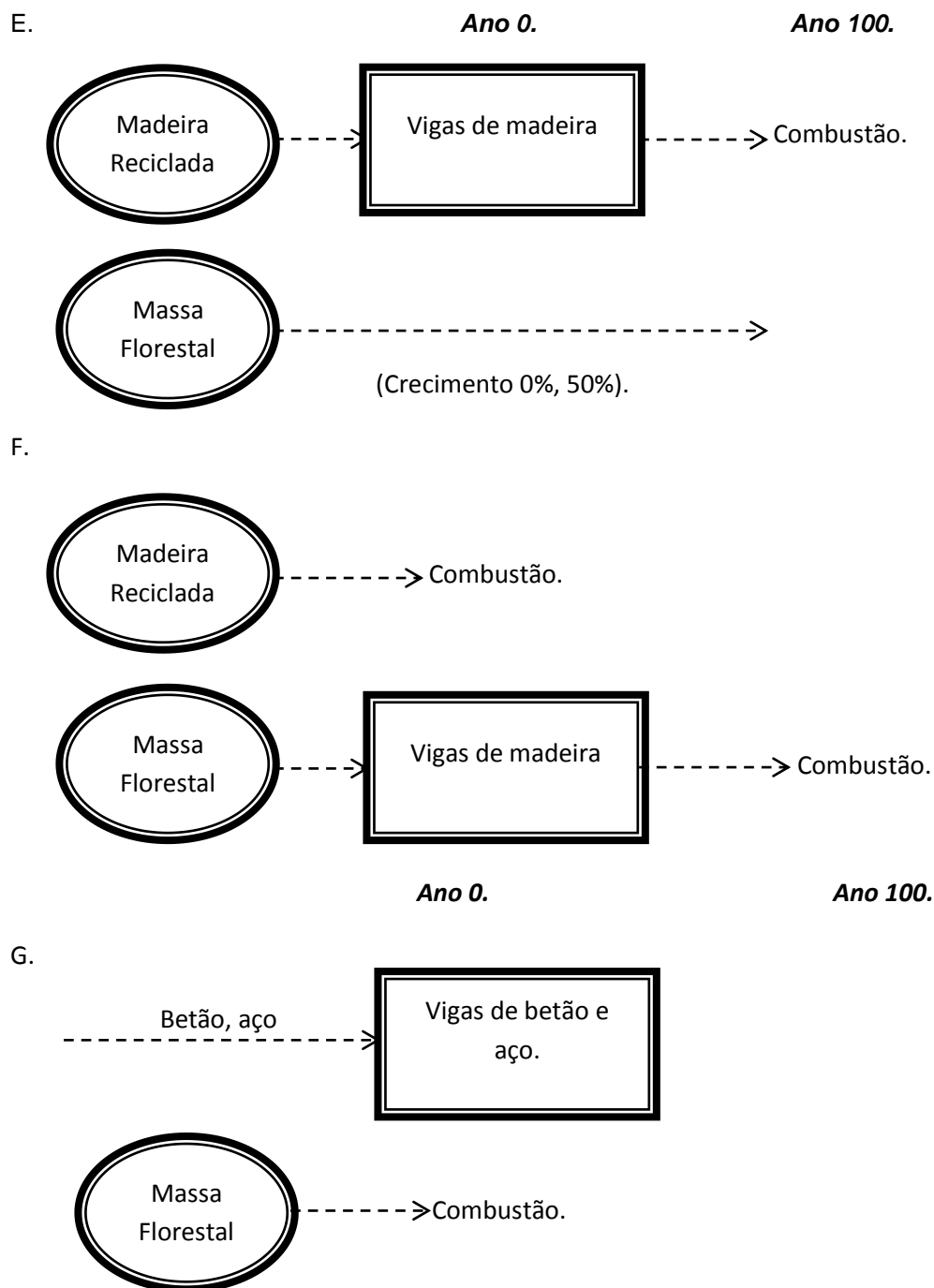


Figura 8.4 - Esquema representativo, caso E, caso F e caso G

Quando a madeira reciclada é utilizada na construção, assume-se que a massa florestal vai continuar intacta e continuará a crescer 0% (E1) ou 50% (E2), durante o seu ciclo de vida de 100 anos. Quando a massa florestal for talhada para produzir as vigas (F), a madeira reciclada é utilizada para biocombustível como substituto do carvão. Quando forem utilizados, para a construção das vigas, materiais não provenientes da madeira, a madeira reciclada é queimada como biocombustível e a massa florestal mantém-se intacta, crescendo 0% (G1) ou 50% (G2) durante os 100 anos que compreende o ciclo de vida da massa florestal [77].

Na tabela 8.3 estão representados os balanços de carbono (kg CO<sub>2</sub>-eq) dos casos C e D. Como unidade funcional são utilizados 1.000 kg de madeira. Os valores positivos de CO<sub>2</sub>-eq indicam emissões para a atmosfera, os valores negativos indicam as emissões evitadas de CO<sub>2</sub>-eq e, portanto, armazenadas.

Tabela 8.3 - Balanço de CO<sub>2</sub>-eq, caso E1, E2, F, G1 e G2 [77]

Balanço de CO <sub>2</sub> -eq, caso E1, E2, F, G1 e G2					
Cenários	Emissões CO <sub>2</sub> fóssil	CO <sub>2</sub> fóssil, deslocado pelo biocombustível (a)	Alteração de CO <sub>2</sub> na floresta	CO <sub>2</sub> armazenado no tabuleiro (b)	Total
E1	14	-474	0	425	-35
E2	14	-474	-826	425	-860
F	105	-1.603	0	425	-1073
G1	166 (c)	-474	0	425	118
G2	166 (c)	-474	-826	425	-708

(a) Assume-se que o biocombustível substitui o carvão.

(b) Alteração nas existências de CO<sub>2</sub> na floresta e nos produtos desde o princípio até ao final do ciclo de vida.

(c) Inclui 56 kg de CO<sub>2</sub> não fóssil a partir de reações de calcinação do cimento.

O menor balanço de CO<sub>2</sub>-eq é obtido da construção com madeira virgem e com o uso da madeira reciclada como biocombustível. Construções com aço e betão, e o uso da floresta e da madeira reciclada como biocombustível, têm um balanço de CO<sub>2</sub>-eq um pouco maior devido ao combustível fóssil e às emissões de calcinação do material de fabricação. O uso da massa florestal e da madeira reciclada como biocombustível é o fator que mais contribui para os saldos de baixas emissões de CO<sub>2</sub>-eq. Se deixarmos a floresta sem cortar, obteremos altos níveis de CO<sub>2</sub>-eq, incluindo quando se mantém e o seu crescimento aumenta 50%. Os balanços em CO<sub>2</sub>-eq são negativos em todas as opções exceto quando o betão armado é utilizado para construir as vigas e a floresta se mantém, não é talhada e não é incrementado o seu crescimento.

## 9. CONCLUSÃO

A conclusão do trabalho deveria responder a uma pergunta, que é a seguinte: ***Madeira para peletes ou para construção/incorporação nas vivendas, qual é a melhor opção na perspectiva da redução da emissão de GEE?***

Com base na tese apresentada, pode-se afirmar que a opção para reduzir as emissões de GEE é a madeira para construção. Isto é devido a que a madeira mantém, durante o seu ciclo de vida, o carbono armazenado no seu interior. Se a madeira for utilizada na construção, ou seja, não for queimada instantaneamente como os peletes, terá uma função armazenadora de CO<sub>2</sub>. Este fato é sumamente importante para combater a alteração climática já que se utilizarmos a madeira de forma sustentável, ou seja, se utilizarmos a madeira de acordo com o período de rotação da floresta de onde se obteve a matéria-prima, podemos gerar um gradiente muito positivo no balanço de CO<sub>2</sub>-eq, reduzindo não só as emissões mas também outorgando um déficit de CO<sub>2</sub>-eq na atmosfera.

Os peletes são um material energético que produz menos CO<sub>2</sub> do que outros combustíveis alternativos. Mas estes geram GEE para a atmosfera porque, embora no momento de conversão se estabeleça que tenham uma contribuição de emissões CO<sub>2</sub> neutra, durante o processo de fabrico dos peletes gera-se CO<sub>2</sub>-eq para a atmosfera e este não pode ser mitigado pelas florestas, já que os peletes têm um tempo de vida muito curto, praticamente imediato se forem comparados com os produtos de construção, e o CO<sub>2</sub> emitido não puder ser subsanado.

Dentro dos produtos de construção em madeira, encontramos uma variedade de produtos. Os que geram um balanço de CO<sub>2</sub> mais favorável serão aqueles que utilizem materiais mais densos, como as tábuas duras, e os quais estejam menos expostos à intempérie, como os pavimentos.

Dentro de uma cascata de materiais a opção mais indicada para a redução dos GEE é a utilização de madeira reciclada para a substituição do carvão (usando a madeira como material energético para o fabrico dos materiais) e a utilização da madeira virgem para a obtenção da matéria prima para o fabrico de diferentes produtos. A utilização de materiais alternativos (aço, betão, etc) como matéria prima utilizada para fabrico sempre vai produzir uma quantidade superior de GEE que a utilização de madeira como matéria prima, isto é devido à fabrico dos materiais alternativos emprega um alto conteúdo de combustíveis fósseis no fabrico dos materiais muito superior aos combustíveis fósseis utilizados no fabrico da madeira para edificação.

Uma possibilidade muito importante para mitigar a alteração climática seria o uso da madeira reciclada para gerar biomassa densificada e, ao mesmo tempo, utilizar as florestas para a

criação de produtos de construção que tenham um tempo de vida útil igual à rotação da massa florestal de onde procedem.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Humberto Arreaza Rubín (2012). *Estudio del impacto ambiental de la madera como material de construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas.*
2. Carazo, A. (2006). *Cifras básicas de la relación Madera-Fijación de Carbono-CO2 atmosférico.*
3. Buchanan, A., & Levine, S. (1999). *Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. Environmental Science & Policy (2), 427-437.*
4. Gregorio Montero, Ricardo Ruiz-Peinado, Marta Muñoz (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles. nº 13. MONOGRAFÍAS INIA: SERIE FORESTAL.*
5. CEI – Bois (2012). *"Tackle Climate Change: Use Wood".*
6. M. Asif, T. Muneer, R. Kelley (2007). *Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. Building and Environment 42. (1391–1394).*
7. YiminZhag, Jon Mckechnie, Denis Cormier, Robert Lyng, Warren Mabee, AkifumioginioandHeather L.Maclean (2010). *Life Cycle Emissions and Cost of Producing Electricity from Coal, Natural Gas, and Wood Peletes in Ontario, Canada. Environ. Sci. Technol. 44, 538–544.*
8. Leif Gustavsson, Anna Joelsson, Roger Sathre (2010). *Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. Energy and Buildings 42 230–242.*
9. James B. Wilson (2012). *Using woodproducts to reduce global warming. Forests, Carbon and Climate Change: A Synthesis of Science Findings.*
10. Ana Cláudia Dias, Luís Arroja (2012). *Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. Journal of Cleaner Production 37.*
11. Francesco Cherubini (2010). *GHG balances of bioenergy systems – Overview of key steps in the production chain and methodological concerns. Renewable Energy 35 1565–1573.*
12. Siyu Chen (2009). *Life Cycle Assessment of Wood Pellet. Göteborg, Sweden.*
13. J. Vanneste, T. Van Gerven, E. VanderPutten, B. Van der Bruggen, L. Helsen (2011). *Energetic valorization of wood waste: Estimation of the reduction in CO2 emissions. Science of the Total Environment 409 3595–3602.*
14. ANPEB - Associação Nacional de Peletes Energéticos de Biomassa (2012). *A indústria e mercado dos peletes em Portugal.*
15. Johannes Schmidt, Sylvain Leduc, ErikDotzauer, ErwinSchmid (2011). *Cost-effective policy instruments for greenhouse gas emission reduction and fossil fuel substitution through bioenergy production in Austria. Energy Policy39 3261–3280.*
16. PekkaVanhala, Anna Repo and JariLiski (2010). *Forest bioenergy at the cost of carbon sequestration? COSUST-272; NO. OF PAGES 6.*
17. Clara Valente, Raffaele Spinelli, Bengt Gunnar Hillring (2011). *LCA of environmental and socio-economic impacts related to wood energy production in alpine conditions: Valle di Fiemme (Italy). Journal of Cleaner Production 19 1931e1938.*

18. Hanne K. Sjølie, Birger Solberg (2011). *Greenhouse gas emission impacts of use of Norwegian wood peletes: a sensitivity analysis. Environmental science & policy* 141028 – 1040.
19. Carlos Manuel Miranda Mendes (2011). *Ensaio de equipamento de aquecimento ambiente a peletes para marcação CE. Universidade do Minho Escola de Engenharia.*
20. Roger Sathre, Leif Gustavsson (2006). *Energy and carbon balances of wood cascade chains. Resources, Conservation and Recycling* 47 332–355.
21. Wegener G., Zimmer, B., Frühwald, A., Scharai-Rad, M., (1997). 'ÖkobilanzenHolz. Faktenlesen, verstehen und Handeln', InformationsdienstHolz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (Herausgeber), München.
22. Carlo N. Hamelinck, Roald A.A. Suurs, Andre P.C. Faaij (2005). *International bioenergy transport costs and energy balance. Biomass and Bioenergy* 29 114–134.
23. Beatriz Rivela, Maria Teresa Moreira, Ivan Muñoz, Joan Rieradevall, Gumersindo Feijó (2006). *Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture. Science of the Total Environment* 357 1 –11.
24. Jon Mckechnie, Steve Colombo, Jiaxin Chen, Warren Mabee, and Heather L. Maclean (2011). *Forest Bioenergy or Forest Carbon? Assessing Trade-Offs in Greenhouse Gas Mitigation with Wood-Based Fuels. Environ. Sci. Technol.*, 45, 789–795.
25. Felipe Bravo. 1.ª Edición, (2007). *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural.*
26. Marcela Olguín, Omar Masera y Alejandro Velázquez. (2010). *El potencial de captura de carbono en mercados emergentes.*
27. Field, B. C. FAO (1999). *State of the world's forest. Rome Information División. FAO, Roma.*
28. Beaumont, R.E. y C.E. Merenson (1999). *El Protocolo de Kyoto y el Mecanismo para un desarrollo limpio. Nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Departamento de Montes, FAO, Roma.*
29. James Salazar, Jamie Meil (2009). *Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence. Journal of Cleaner Production* 17 1563–1571.
30. Jacobo, Guillermo José - Vedoya, Daniel Edgardo (2004). *Una chance para el futuro: la madera como alternativa para la construcción. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.*
31. FAO, (2005). *Situación de los bosques del mundo. FAO, Roma, 166 pp.*
32. Solberg B., Brooks D.J., Pajuoja H., Peck T., Wardle P, (1996). *Long-term trends and prospects in world supply and demand for wood and implications for sustainable forest management - a synthesis, in: Solberg, B, (editor), 1996, Long-term trends and prospects in world supply and demand for wood and implications for sustainable forest management. Research Report No 6. European Forest Institute, Joensuu, Finland.*
33. Jorma Julin (2010). *The international promotion of wood construction as a part of climate policy.*

34. Frank Werner, Ruedi Taverna, Peter Hofer, Esther Thurig, Edgar Kaufmann. (2010) *National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. environmental science & policy* 13 72 – 85.
35. Ann Kristin Petersen, Birger Solberg (2002). *Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport. Environmental Science & Policy* 5 169–182.
36. Ljusk Ola Eriksson, Leif Gustavsson, Riitta Haanpää, Maarit Kallio, Henna Lyhykainen, Kim Pingoud, Johanna Pohjola, Roger Sathre, Birger Solberg, Jarle Svanaes, Lauri Valsta (2012). *Climate change mitigation through increased wood use in the European construction sector—towards an integrated modelling framework. Eur J Forest Res* 131:131–144.
37. Sara González-García, Gumersindo Feijoo, Carol Heathcote, Andreas Kandelbauer, M. Teresa Moreira (2011). *Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system. Journal of Cleaner Production* 19 445e453.
38. Daniel Reed, Richard Bergman, Jae-Woo Kim, Adam Taylor, David Harper, David Jones, Chris Knowles, Maureen E. Puettmann (2012). *Cradle-to-Gate Life-Cycle Inventory and Impact Assessment of Wood Fuel Pellet Manufacturing from Hardwood Flooring Residues in the Southeastern United States. Forest Prod. J.* 62(4):280–288.
39. Sara González-García, Raúl García Lozano, Javier Costas Estévez, Rosario Castilla Pascual, Ma. Teresa Moreira, Xavier Gabarrell, Joan Rieradevall, Pons, Gumersindo Feijoo (2012). *Environmental assessment and improvement alternatives of a ventilated wooden wall from LCA and DfE perspective. Int J Life Cycle Assess* 17:432–443.
40. Christopher A. Bolin, Stephen Smith (2011). *Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. Journal of Cleaner Production* 19 620e629.
41. Beatriz Rivela, Almudena Hospido, M<sup>a</sup> Teresa Moreira and Gumersindo Feijoo (2006). *Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. Int J LCA* 11 (2) 106 – 113
42. Helena Monteiro, Fausto Freire (2012). *Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. Energy and Buildings* 47 572–583.
43. Eliseu Monteiro, Vishveshwar Mantha, Abel Rouboa (2012). *Portuguese peletes market: Analysis of the production and utilization constraints. Energy Policy* 42 129–135.
44. Richard Sikkema, Martin Junginger, Wilfried Pichler, Sandra Hayes, André P.C. Faaij (2010). *The international logistics of wood peletes for heating and power production in Europe. Biofuels, Bioprod. Bioref.* 4:132-153
45. Manuel Tomé da Cruz Barbosa (2008). *Análise da utilização de biomassa e resíduos florestais para a produção de peletes. Universidade de Aveiro.*
46. Tore Filbakk, Raida Jirjis, Juha Nurmi, Olav Høibø (2011). *The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (Pinus sylvestris L.) peletes. biomass and bioenergy* 35 3342e3349.
47. Tampier M, Beauchemin PA, Smith D and Bibeau E (2006). *Identifying environmental preferable uses for biomass resources. Envirochem Services Inc.*

48. Zakrisson M (2002). *A comparison of international pellet production costs. Examensarbeten* 39:1–67
49. Jungbluth N. Erdöl (2007). *Sachbilanzen von Energiesystemen*.
50. Ann Kristin Petersen Raymer (2006). *A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy. Biomass and Bioenergy* 30 605–617.
51. Francesco Cherubini (2010). *GHG balances of bioenergy systems – Overview of key steps in the production chain and methodological concerns*.
52. Tomohiro Tabata, Takaaki Okuda (2012). *Life cycle assessment of woody biomass energy utilization: Case study in Gifu Prefecture, Japan. Energy* 45 944e951.
53. Binnenvaart. *Classes of navigable waterways: ECMT. PromotieBinnenvaartVlaanderen, Hasselt* (2008). Available at: <http://www.binnenvaart.be> [May, 2008].
54. Romijn P (2008). *Use and efficiency of wood peletes at coal-fired powerplants in the Netherlands*.
55. Francesca Magellia, Karl Boucherb, Hsiaotao T. Bib, StaffanMelinc, Alessandra Bonolia (2009). *An environmental impact assessment of exported wood peletes from Canada to Europe. biomass and bioenergy* 33 434 – 441.
56. M. Asif, T. Muneer, R. Kelley (2007). *Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. Building and Environment* 42 1391–1394.
57. Beatriz Rivela, Almudena Hospido, M<sup>a</sup> Teresa Moreira and Gumersindo Feijoo (2006). *Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. Int J LCA* 11 (2) 106 – 113
58. Frank Werner, RuediTaverna, Peter Hofer, Esther Thurig, Edgar Kaufmann (2010) . *National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. environmental science & policy* 13 72 – 85.
59. Danielle DensleyTingley, Buick Davison (2012). *Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction. Building and Environment* 57 387e395.
60. Ljusk Ola Eriksson, Leif Gustavsson, RiittaHanninen, MaaritKallio, Henna Lyhykainen, Kim Pingoud, Johanna Pohjola, Roger Sathre, Birger Solberg, JarleSvanaes, LauriValsta (2011). *Climate change mitigation through increased wood use in the European construction sector—towards an integrated modelling framework*.
61. Sara González-García, Raúl García Lozano, Javier Costas Estévez, Rosario Castilla Pascual, Ma. Teresa Moreira, Xavier Gabarrell, Joan Rieradevalli Pons, GumersindoFeijoo (2012). *Environmental assessment and improvement alternatives of a ventilated wooden wall from LCA and DfE perspective. Int J Life Cycle Assess* 17:432–443.
62. Sara González-García, Gumersindo Feijoo, Carol Heathcote, Andreas Kandelbauer, M. Teresa Moreira (2011). *Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system. Journal of Cleaner Production* 19 445e453.
63. Leif Gustavsson, Anna Joelsson, Roger Sathre (2010). *Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. Energy and Buildings* 42 230–242.



64. RTS Building Information Foundation, (2001). *'Environmental Reporting for Building Materials' – 1998 – 2001 and Ministry for Environment, Denmark, 2001, 'The Environmental Impact of Packaging Materials'*.
65. Indufor (2004). *CEI-Bois Roadmap 2010*.
66. Mikko Viljakainen (2009). *The environmental impact of construction and the manufacture of building products- will the energy efficiency requirements be sufficient?*, Finnish Forest Industries Federation.
67. FAO (2000). *FAO Yearbook: Forest products, FAO Forestry series No. 33, FAO Statistics series n.º 155*.
68. Lizarralde, I; Broto, M.; Bravo, F. (2006). *Using taper equations to assess carbon sequestration on wood products. A study case: Scots pine in "Pinar Grande" forest (Soria, Spain). En actas de Managing Forest Ecosystems: the Challenges of Climate Change. 3-7 April. Palencia*.
69. FAO, (2003). *Global Warming Potential, Acidification Potential, Eutrophication Potential, Photochemical Ozone Production Potential*.
70. Tratek/SCA (2003). *Materials Production and Construction*.
71. Richter K, Brunner K, Bertschinger H (1996). *Environmental assessment of thermal insulation glazing, integral comparison of different glazing variants (in German). Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Dübendorf*.
72. Mötzl H, Zelger T, Gann M, Liebminger A, Lipp B (2000). *Ecology of insulation materials; basics on thermal insulation, life cycle assessment, optimal insulation standards (in German). Springer Verlag Vienna, New York*.
73. Jönsson A (1999). *Including the use phase in LCA of floor coverings. Int J LCA 4, 321–328*.
74. Werner F (1998). *LCI s of insulation material – A comparison. In: Proceedings of the 10th European Conference and Technology Exhibition 'Biomass for Energy and Industry'. C.A.R.M.E.N, Würzburg, pp 180–183*.
75. Künniger T, Richter K (1998). *Environmental assessment of railway sleepers in Switzerland; sleepers made of prestressed concrete, profiled steel and creosote-treated beech wood (in German). Forschungs- und Arbeitsbericht 115/38, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Dübendorf*.
76. Künniger T, Richter K (1997). *Environmental comparison of electricity mains made from impregnated wood, reinforced concrete and corrosion-protected steel (in German). Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Dübendorf*.
77. Roger Sathre, Leif Gustavsson (2006). *Energy and carbon balances of wood cascade chains. Resources, Conservation and Recycling 47 332–355*.